

**TCVN**

**TIÊU CHUẨN QUỐC GIA**

**TCVN 13536:2022**

Xuất bản lần 1

**BÊ TÔNG - PHƯƠNG PHÁP SIÊU ÂM  
XÁC ĐỊNH CƯỜNG ĐỘ CHỊU NÉN**

*Concrete - Ultrasonic method to estimate compressive strength*

**HÀ NỘI - 2022**

## Mục lục

Lời nói đầu.....	4
1 Phạm vi áp dụng.....	5
2 Tài liệu viện dẫn.....	5
3 Thuật ngữ và định nghĩa.....	5
4 Quy định chung.....	6
5 Thiết bị, dụng cụ.....	6
6 Chuẩn bị thí nghiệm.....	7
7 Xác định cường độ bề tổng trên kết cấu.....	11
8 Báo cáo thí nghiệm.....	12
Phụ lục A (Quy định) Sơ đồ truyền âm khi thí nghiệm siêu âm bề tổng.....	13
Phụ lục B (Quy định) Phương pháp thiết lập, hiệu chỉnh và đánh giá các thông số của đường chuẩn.....	14
Phụ lục C (Tham khảo) Ví dụ thiết lập và đánh giá các thông số của đường chuẩn.....	17
Phụ lục D (Tham khảo) Đường chuẩn chung.....	21
Phụ lục E (Quy định) Phương pháp quy đổi đường chuẩn.....	23
Phụ lục F (Quy định) Chỉ định số vùng thí nghiệm cho kết cấu đúc sẵn và kết cấu đổ tại chỗ.....	24

## **TCVN 13536:2022**

### **Lời nói đầu**

**TCVN 13536:2022** được xây dựng trên cơ sở tham khảo tiêu chuẩn GOST 17624-2012 Concrete. Ultrasonic method for strength determination.

**TCVN 13536:2022** và **TCVN 13537:2022** thay thế **TCVN 9357:2012**

**TCVN 13538 : 2022** do Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng biên soạn, Bộ Xây dựng đề nghị, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng thẩm định, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

## Bê tông - Phương pháp siêu âm xác định cường độ chịu nén

*Concrete - Ultrasonic method to estimate compressive strength*

### 1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định phương pháp sử dụng siêu âm để xác định cường độ chịu nén của bê tông thường, bê tông nhẹ cốt liệu rỗng trên các kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối cũng như đúc sẵn.

Kiểm tra và đánh giá bê tông theo cường độ chịu nén thực hiện theo quy định trong TCVN 10303:2014.

### 2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi, bổ sung (nếu có).

TCVN 3105:2022, *Hỗn hợp bê tông nặng và bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử.*

TCVN 3118:2022, *Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén.*

TCVN 5574:2018, *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế.*

TCVN 10303:2014, *Bê tông - Kiểm tra và đánh giá cường độ chịu nén.*

TCVN 12252:2020, *Bê tông - Phương pháp xác định cường độ bê tông trên mẫu lấy từ kết cấu.*

### 3 Thuật ngữ và định nghĩa

Trong tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ, định nghĩa trong TCVN 5574:2018, TCVN 10303:2014 và các thuật ngữ định nghĩa sau:

#### 3.1

**Phương pháp siêu âm xác định cường độ chịu nén** (ultrasonic method to estimate compressive strength)

Phương pháp không phá hủy xác định cường độ chịu nén dựa trên cơ sở mối tương quan giữa vận tốc xung siêu âm với cường độ.

#### 3.2

**Chỉ số gián tiếp** (nondirect index)

Tốc độ, thời gian truyền xung siêu âm hoặc chỉ số khác hiển thị trên thiết bị thí nghiệm không phá hủy.

## TCVN 13536:2022

### 3.3

#### Đường chuẩn (fitting curve)

Đồ thị hoặc công thức thể hiện quan hệ giữa chỉ số gián tiếp và cường độ bề tông.

### 3.4

#### Chiều dài đường truyền (path length)

Khoảng cách giữa tâm điểm của bề mặt đầu phát và tâm điểm của bề mặt đầu thu siêu âm khi hai đầu dò áp lên trên bề mặt bê tông.

### 3.5

#### Hệ số quy đổi (conversion coefficient)

Hệ số sử dụng để quy đổi kết quả xác định cường độ dựa trên đường chuẩn được xây dựng trước đó hoặc đường chuẩn chung theo kết quả thí nghiệm thực tế.

## 4 Quy định chung

4.1 Phương pháp siêu âm được sử dụng để xác định cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi trung gian, tuổi thiết kế hoặc sau tuổi thiết kế.

4.2 Vận tốc xung siêu âm được xác định theo sơ đồ truyền âm trực tiếp hoặc truyền âm gián tiếp (Phụ lục A). Với các kết cấu thi công tại chỗ, áp dụng sơ đồ truyền âm gián tiếp. Sơ đồ truyền âm trực tiếp chỉ áp dụng với các kết cấu thi công tại chỗ khi có thể xác định chiều dài đường truyền với sai số tương đối theo 6.18.

4.3 Cường độ bề tông trên kết cấu phải được xác định dựa trên đường chuẩn (3.3) xây dựng bằng thực nghiệm thể hiện tương quan giữa các chỉ số gián tiếp (3.2) với cường độ của bê tông.

4.4 Cường độ bề tông trên kết cấu phải được xác định tại các khu vực không có các dấu hiệu hư hại (nứt, vỡ, rỗ bề mặt, ...).

4.5 Phương pháp siêu âm xác định cường độ chịu nén được áp dụng với bê tông ở nhiệt độ trên 0 °C. Trường hợp nhiệt độ bê tông nhỏ hơn 0 °C, đường chuẩn xác định cường độ phải được xây dựng theo 6.9.

## 5 Thiết bị, dụng cụ

5.1 Phép đo siêu âm được thực hiện bởi các thiết bị đo thời gian và tốc độ lan truyền xung siêu âm trong bê tông. Các thiết bị này phải được kiểm tra và kiểm định theo quy định.

5.2 Giới hạn cho phép của sai số tuyệt đối của phép đo thời gian truyền xung siêu âm trong mẫu chuẩn kèm theo bộ thiết bị, tính bằng micro giây ( $\mu$ s), không được vượt quá giá trị ( $\Delta$ ), được xác định theo công thức:

$$\Delta = (0,01 \times t + 0,1) \quad (1)$$

trong đó:

$t$  là thời gian truyền xung, tính bằng micro giây ( $\mu\text{s}$ ).

**5.3** Nếu sử dụng một vài thiết bị siêu âm để kiểm tra cường độ bê tông cùng một công trình, trước khi thí nghiệm xây dựng đường chuẩn, cần hiệu chỉnh các thiết bị này trên cùng một mẫu chuẩn sao cho sai số các chỉ số của chúng không vượt quá 0,5 %.

**5.4** Khi xác định vận tốc xung siêu âm theo sơ đồ truyền âm gián tiếp, chiều dài đường truyền phải không nhỏ hơn 120 mm và không lớn hơn 200 mm.

**5.5** Phải đảm bảo sự nối âm tốt giữa bề mặt bê tông và bề mặt đầu dò. Phải sử dụng cùng phương pháp đảm bảo nối âm trong thí nghiệm xây dựng đường chuẩn và trong thí nghiệm kiểm tra cường độ.

**5.6** Không cho phép sử dụng các thiết bị siêu âm chia độ trước theo thang cường độ để xác định trực tiếp cường độ bê tông.

## 6 Chuẩn bị thí nghiệm

**6.1** Chuẩn bị thí nghiệm bao gồm việc kiểm tra các thiết bị sử dụng theo hướng dẫn sử dụng và thu thập số liệu để xây dựng đường chuẩn theo các yêu cầu của tiêu chuẩn này.

**6.2** Để kiểm tra cường độ bê tông, đường chuẩn cần được xây dựng trên cơ sở các số liệu sau:

- kết quả thí nghiệm theo phương pháp siêu âm và kết quả thí nghiệm nén mẫu lấy từ cùng một vùng kết cấu theo TCVN 12252:2020;

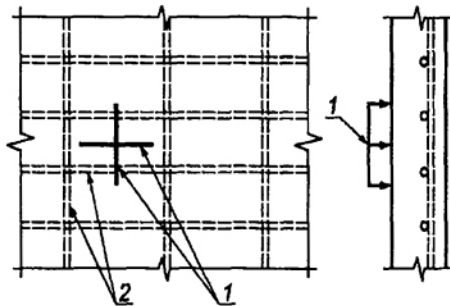
- kết quả thí nghiệm theo phương pháp siêu âm và kết quả thí nghiệm nén mẫu tiêu chuẩn theo TCVN 3105:1993 và TCVN 3118:2022.

**6.3** Đối với bê tông có cùng thành phần danh định, cần xây dựng các đường chuẩn riêng biệt cho từng loại cường độ quy định tại 4.1. Cho phép xây dựng một đường chuẩn cho bê tông cùng loại, khác nhau về thành phần danh định và giá trị cường độ quy định, nhưng không vượt quá ba cấp cường độ danh định.

**6.4** Để xây dựng đường chuẩn theo kết quả thí nghiệm siêu âm và thí nghiệm mẫu lấy từ kết cấu, trước tiên cần sử dụng phương pháp siêu âm để xác định các vùng có giá trị chỉ số gián tiếp nhỏ nhất và lớn nhất. Sau đó, lựa chọn không ít hơn 12 vùng bao gồm các vùng có giá trị chỉ số gián tiếp nhỏ nhất, lớn nhất và trung gian. Sau khi thí nghiệm bằng phương pháp siêu âm, tiến hành khoan, cắt và thí nghiệm mẫu lấy tại các vùng đã lựa chọn theo TCVN 12252:2020.

**6.5** Tuổi bê tông các vùng thí nghiệm không được chênh lệch quá 25 % so với tuổi trung bình bê tông của khu vực kết cấu hoặc nhóm các kết cấu được kiểm tra. Không cần tính đến tuổi của từng vùng kết cấu nếu như đường chuẩn được xây dựng cho bê tông kết cấu có tuổi lớn hơn 2 tháng.

6.6 Tại mỗi vùng, trước tiên cần xác định vị trí thép cốt. Sau đó, sử dụng thiết bị siêu âm đo chỉ số gián tiếp không ít hơn hai lượt. Theo đó, siêu âm được truyền theo hai hướng vuông góc nhau và tạo thành góc gần bằng 45° so với phương của thép cốt nằm song song hoặc vuông góc với nó. Khi thí nghiệm siêu âm theo hướng song song với thép cốt, đường truyền phải nằm giữa các thanh thép cốt (xem Hình 1).



**CHÚ DẪN:**

- 1 - Vị trí đặt thiết bị khi thí nghiệm;
- 2 - Thép cốt trong bê tông.

**Hình 1 - Bố trí truyền âm**

Chênh lệch giữa các kết quả đơn lẻ xác định vận tốc hoặc thời gian truyền xung siêu âm tại mỗi vùng so với giá trị trung bình các kết quả đo của vùng đó không được vượt quá 2 %. Các kết quả đo không thỏa mãn yêu cầu trên không được sử dụng trong tính toán giá trị trung bình vận tốc hoặc thời gian truyền xung siêu âm của vùng đó.

6.7 Đường chuẩn được xây dựng dựa trên các cặp giá trị đơn lẻ chỉ số gián tiếp và cường độ bê tông. Giá trị đơn lẻ chỉ số gián tiếp là giá trị trung bình cộng chỉ số gián tiếp của một vùng.

Khi sử dụng mẫu lấy từ kết cấu để xây dựng đường chuẩn, giá trị đơn lẻ cường độ bê tông là cường độ bê tông của một vùng.

Khi sử dụng mẫu đúc để xây dựng đường chuẩn, giá trị đơn lẻ cường độ bê tông là cường độ tổ mẫu xác định theo TCVN 3118:2022.

6.8 Với kết cấu thi công toàn khối có nhiệt độ bề mặt lớn hơn 40 °C, nếu cần thiết, vẫn tiến hành thí nghiệm siêu âm bê tông ở ngay nhiệt độ đó, còn thí nghiệm kéo nhỏ và thí nghiệm mẫu lấy từ kết cấu được tiến hành sau khi bê tông đã được làm nguội về nhiệt độ thường.

6.9 Với kết cấu thi công toàn khối, khi nhiệt độ bê tông nhỏ hơn 0 °C (xem 4.5), trước tiên, tiến hành thí nghiệm siêu âm các vùng được lựa chọn phục vụ cho việc xây dựng đường chuẩn, sau đó khoan, cắt lấy mẫu rồi thí nghiệm nén mẫu lấy từ kết cấu ở trong điều kiện nhiệt độ trên 0 °C.

**6.10** Khi sử dụng kết quả thí nghiệm siêu âm mẫu đúc và kết quả thí nghiệm nén chính các mẫu đúc đó để xây dựng đường chuẩn, thì mẫu được chế tạo theo TCVN 3105:2022 và xác định cường độ theo TCVN 3118:2022 sau khi đã thí nghiệm siêu âm.

Với kết cấu được gia công nhiệt (bê tông còn nóng), nếu xây dựng đường chuẩn để xác định cường độ xuất xưởng khi bê tông ở nhiệt độ thường, thì được phép xây dựng đường chuẩn trên cơ sở kết quả thí nghiệm siêu âm tiến hành khi bê tông còn nóng và kết quả thí nghiệm nén chính các mẫu đó sau khi chúng đã được làm nguội về nhiệt độ thường.

**6.11** Để xây dựng đường chuẩn dựa trên cơ sở thí nghiệm mẫu đúc, cần sử dụng kết quả thí nghiệm không ít hơn 15 tổ mẫu đúc.

Mẫu được lấy, chế tạo theo TCVN 3105:2022 ở các ca làm việc khác nhau trong khoảng thời gian không nhỏ hơn 3 ngày đêm, từ hỗn hợp bê tông có cùng thành phần danh định, được sản xuất theo cùng công nghệ và được đóng rắn trong cùng điều kiện như kết cấu được kiểm tra.

**6.12** Khi sử dụng phương pháp siêu âm theo sơ đồ truyền âm trực tiếp và thí nghiệm mẫu đúc để xây dựng đường chuẩn, các đầu dò cần được bố trí theo sơ đồ tại Hình 2a.

**6.13** Chiều dài đường truyền phải không nhỏ hơn 100 mm. Có thể sử dụng chiều dài đường truyền không nhỏ hơn 70 mm khi thí nghiệm bê tông hạt nhỏ và bê tông ở tuổi sớm (vận tốc xung siêu âm nhỏ hơn 2 000 m/s).

**6.14** Khi sử dụng phương pháp siêu âm theo sơ đồ truyền âm gián tiếp và thí nghiệm mẫu đúc để xây dựng đường chuẩn, các đầu dò cần được bố trí theo sơ đồ tại Hình 2b.

Chiều dài đường truyền không được nhỏ hơn 120 mm.

Tiến hành đo trên bề mặt có vị trí so với khuôn và hướng tạo hình trong quá trình đúc mẫu tương tự như bề mặt sẽ kiểm tra trên cấu kiện.

**6.15** Theo sơ đồ truyền âm trực tiếp, tiến hành 3 lần đo trên mỗi mẫu. Theo sơ đồ truyền âm gián tiếp, tiến hành 4 lần đo trên mỗi mẫu.

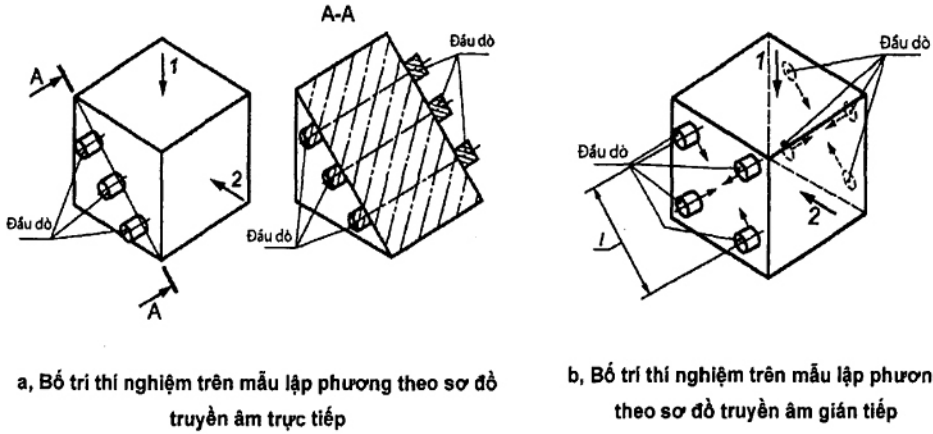
**6.16** Chênh lệch của từng kết quả đo chỉ số gián tiếp trên mỗi mẫu so với giá trị trung bình của các chỉ số gián tiếp đo được trên mẫu đó không được lớn hơn 2 %.

Không được sử dụng kết quả thí nghiệm mẫu trong tính toán giá trị trung bình chỉ số gián tiếp của tổ mẫu nếu không thỏa mãn yêu cầu trên.

Không sử dụng kết quả thí nghiệm của tổ mẫu nếu trong tổ mẫu đó có 2 mẫu không thỏa mãn yêu cầu trên.

**6.17** Bề mặt bê tông tại vùng tiếp xúc với đầu dò không được có các vết lõm và bọt khí sâu hơn 3 mm, rộng hơn 6 mm cũng như các vết lồi cao hơn 0,5 mm so với bề mặt. Bề mặt bê tông phải được làm sạch bụi bẩn.





**CHÚ DẪN:**

- 1 - Hướng tạo hình bê tông;
- 2 - Hướng gia tải khi thí nghiệm xác định cường độ chịu nén;
- l - chiều dài đường truyền.

**Hình 2 - Sơ đồ bố trí thí nghiệm**

**6.18** Sai số tương đối khi đo chiều dài đường truyền không được vượt quá 0,5 %.

**6.19** Phương pháp thiết lập, hiệu chỉnh đường chuẩn, đánh giá các thông số và điều kiện áp dụng đường chuẩn được trình bày tại Phụ lục B. Ví dụ xây dựng đường chuẩn được trình bày tại Phụ lục C.

**6.20** Kiểm tra và hiệu chỉnh đường chuẩn đã xây dựng có tính đến các kết quả thí nghiệm bổ sung cần được tiến hành không ít hơn một lần trong vòng một tháng theo phương pháp trình bày tại Phụ lục B. Số lượng mẫu và vùng thí nghiệm khi tiến hành hiệu chỉnh không được ít hơn 3.

**6.21** Xác định sơ bộ cường độ bê tông có thể tiến hành theo đường chuẩn đã xây dựng trước đó cho bê tông khác với bê tông đang kiểm tra hoặc theo đường chuẩn chung.

**CHÚ THÍCH:** Đường chuẩn chung cho bê tông thường cấp từ B7,5 đến B35 và từ B35 đến B60 được trình bày trong Phụ lục D. Có thể sử dụng các đường chuẩn này để xác định sơ bộ cường độ của bê tông từ 12,5 MPa đến 45 MPa và từ 45 MPa đến 75 MPa khi sử dụng sơ đồ truyền âm gián tiếp với chiều dài đường truyền 150 mm.

**6.23** Theo từng điều kiện thí nghiệm cụ thể cần quy đổi các kết quả xác định dựa trên đường chuẩn đã xây dựng trước đó hoặc đường chuẩn chung bằng cách sử dụng hệ số quy đổi. Phương pháp xác định hệ số quy đổi được trình bày tại Phụ lục E.

**6.24** Nếu không quy đổi theo Phụ lục E, chỉ được phép sử dụng đường chuẩn đã xây dựng trước đó hoặc đường chuẩn chung để xác định giá trị sơ bộ cường độ. Không được phép sử dụng giá trị sơ bộ cường độ để đánh giá cấp bê tông.

## 7 Xác định cường độ bê tông trên kết cấu

7.1 Số lượng vùng và bố trí các vùng kiểm tra trên kết cấu cần phải thỏa mãn yêu cầu của TCVN 10303:2014 và được mô tả trong hồ sơ thiết kế kết cấu hoặc được chỉ định, có tính đến:

- yêu cầu kiểm tra (xác định cấp cường độ thực tế, cường độ tháo ván khuôn, cường độ xuất xưởng, xác định khu vực có cường độ thấp, ...);
- loại kết cấu (cột, dầm, sàn,...);
- vị trí khối đổ và quá trình đổ bê tông;
- thép cốt của kết cấu.

7.2 Cường độ bê tông mỗi vùng của kết cấu có thể được xác định theo sơ đồ truyền âm trực tiếp hoặc truyền âm gián tiếp.

7.3 Sơ đồ truyền âm gián tiếp được áp dụng cho các kết cấu thi công toàn khối và các kết cấu đúc sẵn khi khó có thể áp dụng sơ đồ truyền âm trực tiếp (tấm sàn, tấm tường, ống, ...).

7.4 Chiều dài đường truyền khi thí nghiệm trên kết cấu theo sơ đồ truyền âm gián tiếp phải bằng chiều dài đường truyền khi thí nghiệm để xây dựng đường chuẩn.

7.5 Khi kiểm tra cường độ quy định của bê tông, tuổi bê tông kết cấu được kiểm tra không được sai khác quá 50 % so với tuổi của bê tông dùng trong xây dựng đường chuẩn.

Khi xác định cường độ bê tông trong quá trình đóng rắn, tuổi bê tông kết cấu không được sai khác quá 25 % so với tuổi bê tông dùng trong xây dựng đường chuẩn

7.6 Chất lượng bề mặt bê tông vùng kiểm tra trên kết cấu ở nơi tiếp xúc với đầu dò phải đáp ứng yêu cầu quy định tại 6.17.

7.7 Khi áp dụng sơ đồ truyền âm trực tiếp, đường truyền phải vuông góc với trục của thép chủ.

Khi áp dụng sơ đồ truyền âm gián tiếp, để hạn chế ảnh hưởng của thép cốt, cần bố trí phép đo theo sơ đồ tại Hình 1.

7.8 Tại mỗi vùng kết cấu, nếu áp dụng sơ đồ truyền âm gián tiếp, tiến hành đo không ít hơn 2 phép đo, nếu áp dụng sơ đồ truyền âm trực tiếp, tiến hành 1 phép đo. Chênh lệch giữa các kết quả đơn lẻ so với giá trị trung bình khi áp dụng sơ đồ truyền âm gián tiếp phải thỏa mãn yêu cầu quy định tại 6.6.

Cường độ bê tông mỗi vùng được xác định trên cơ sở giá trị trung bình vận tốc (hoặc thời gian) truyền xung siêu âm nhờ đường chuẩn được xây dựng theo Điều 6, với điều kiện các giá trị chỉ số gián tiếp đo được phải nằm trong khoảng từ giá trị nhỏ nhất đến lớn nhất sử dụng để xây dựng đường chuẩn hoặc quy đổi đường chuẩn chung.

## **TCVN 13536:2022**

**7.9** Đánh giá các chỉ số thống kê về cấp bê tông theo kết quả thí nghiệm bằng phương pháp siêu âm được thực hiện theo TCVN 10303:2014 chỉ khi cường độ bê tông được xác định theo đường chuẩn xây dựng theo Điều 6.

Khi sử dụng đường chuẩn chung bằng cách quy đổi theo điều kiện thực tế (Phụ lục E), không tiến hành kiểm tra thống kê. Khi đó, việc đánh giá được thực hiện theo quy trình KT quy định trong TCVN 10303:2014.

**7.10** Hướng dẫn về số lượng vùng kiểm tra đối với kết cấu thi công toàn khối và đúc sẵn theo loại hình kết cấu để xác định cường độ bê tông bằng phương pháp siêu âm được trình bày trong Phụ lục F.

## **8 Báo cáo thử nghiệm**

Kết quả thử nghiệm cần được lập thành báo cáo, trong đó thể hiện ít nhất các nội dung sau:

- a) Thông tin về kết cấu được kiểm tra,
- b) Thông tin về bê tông được kiểm tra, cấp cường độ thiết kế, ngày đổ bê tông (nếu có);
- c) Ngày thử nghiệm;
- d) Thiết bị sử dụng, sơ đồ truyền âm, chiều dài đường truyền;
- e) Đường chuẩn, số liệu sử dụng để xây dựng đường chuẩn hoặc để quy đổi theo điều kiện thực tế;
- f) Số lượng vùng thí nghiệm và vị trí các vùng thí nghiệm trên kết cấu;
- g) Chỉ số gián tiếp, cường độ bê tông các vùng và cường độ trung bình của khối đổ hoặc kết cấu;
- h) Viện dẫn tiêu chuẩn này;
- i) Người thử nghiệm.

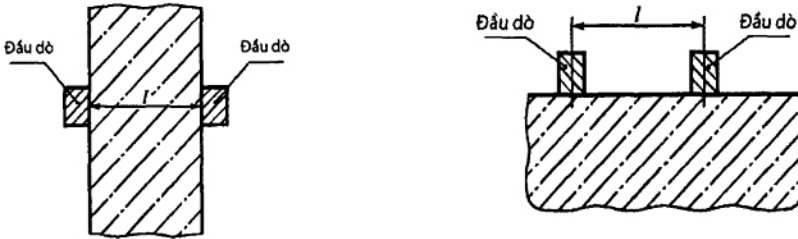
## Phụ lục A

(Quy định)

## Sơ đồ truyền âm khí thí nghiệm siêu âm bê tông

A.1 Khi thí nghiệm siêu âm bê tông theo sơ đồ truyền âm trực tiếp, các đầu dò được bố trí ở các mặt đối diện của mẫu hoặc của kết cấu theo Hình A.1, a.

A.2 Khi thí nghiệm siêu âm bê tông theo sơ đồ truyền âm gián tiếp, các đầu dò được bố trí trên cùng mặt mẫu hoặc kết cấu theo Hình A.1, b.



a, Bố trí thí nghiệm theo sơ đồ truyền âm trực tiếp

b, Bố trí thí nghiệm theo sơ đồ truyền âm gián tiếp

CHÚ DẪN:

l - Chiều dài đường truyền.

Hình A.1 - Sơ đồ bố trí thí nghiệm siêu âm

A.3 Vận tốc truyền xung siêu âm ( $V$ ), tính bằng mét trên giây (m/s), được xác định theo công thức:

$$V = \frac{l}{t} \times 10^3 \quad (A.1)$$

trong đó:

$l$  là chiều dài đường truyền, tính bằng milimét (mm);

$t$  là thời gian truyền xung siêu âm, tính bằng micro giây ( $\mu$ s).

## Phụ lục B

(Quy định)

## Phương pháp thiết lập, hiệu chỉnh và đánh giá các thông số của đường chuẩn

## B.1 Phương trình đường chuẩn

- Phương trình biểu diễn đường chuẩn mô tả quan hệ giữa chỉ số gián tiếp (thời gian hoặc vận tốc truyền xung siêu âm) ( $H$ ) và cường độ bê tông ( $R$ ), tính bằng megapascal (MPa), có dạng như sau:

$$R = a \times H + b \quad (\text{B.1})$$

trong đó:

$a, b$  là hệ số của phương trình, được xác định theo các công thức sau:

$$b = \overline{R_f} - a \times \overline{H} \quad (\text{B.2})$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N [(R_{f_i} - \overline{R_f}) \times (H_i - \overline{H})]}{\sum_{i=1}^N (H_i - \overline{H})^2} \quad (\text{B.3})$$

trong đó:

$R_{f_i}$  là cường độ bê tông vùng thứ  $i$ , được xác định trên mẫu lấy từ kết cấu, tính bằng megapascal (MPa);

$\overline{R_f}$  là cường độ trung bình của các vùng, xác định trên mẫu lấy từ kết cấu, tính bằng megapascal (MPa);

$H_i$  là giá trị chỉ số gián tiếp tại vùng thứ  $i$ , được xác định theo Điều 6;

$\overline{H}$  là giá trị trung bình chỉ số gián tiếp của các vùng;

$$\overline{R_f} = \frac{\sum_{i=1}^N R_{f_i}}{N} \quad (\text{B.4})$$

$$\overline{H} = \frac{\sum_{i=1}^N H_i}{N} \quad (\text{B.5})$$

trong đó:

$N$  là số lượng vùng hoặc mẫu riêng biệt sử dụng để xây dựng đường chuẩn.

## B.2 Xử lý kết quả thí nghiệm

**B.2.1** Sau khi thiết lập đường chuẩn theo công thức (B.1), tiến hành hiệu chỉnh bằng cách loại bỏ các giá trị đơn lẻ không thỏa mãn điều kiện sau:

$$\frac{|R_{iH} - R_{fj}|}{S} \leq 2 \quad (\text{B.6})$$

trong đó:

$S$  là độ lệch chuẩn, tính bằng megapascal (MPa) và được xác định theo công thức:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{iH} - R_{fj})^2}{N - 2}} \quad (\text{B.7})$$

$R_{iH}$  là cường độ bê tông vùng thứ  $i$ , tính bằng megapascal (MPa) và được xác định theo công thức sau:

$$R_{iH} = a_j \times H + b_j \quad (\text{B.8})$$

trong đó:

$a_j, b_j$  là hệ số của phương trình đường chuẩn sau khi đã loại bỏ các giá trị không thỏa mãn điều kiện (B.6).

**B.2.2** Sau khi kiểm tra và loại bỏ các giá trị không phù hợp theo điều kiện (B.6), sử dụng các giá trị còn lại để xác định các hệ số của phương trình (B.1) theo hướng dẫn tại mục B.1 cũng như xác định các giá trị lớn nhất  $H_{\max}$  và nhỏ nhất  $H_{\min}$  của chỉ số gián tiếp.

## B.3 Các thông số của đường chuẩn

**B.3.1** Độ lệch chuẩn của đường chuẩn được xác định theo công thức (B.7). Hệ số biến động ( $\nu$ ) được xác định theo công thức:

$$\nu = \frac{S}{R_f} \quad (\text{B.9})$$

**B.3.2** Hệ số tương quan của đường chuẩn ( $r$ ) được xác định theo công thức sau:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N [(R_{iH} - \overline{R_H}) \times (R_{fj} - \overline{R_f})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (R_{iH} - \overline{R_H})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^N (R_{fj} - \overline{R_f})^2}} \quad (\text{B.10})$$

trong đó:

$\overline{R_H}$  là cường độ trung bình của các vùng xác định theo đường chuẩn, tính bằng megapascal (MPa), được xác định theo công thức sau

$$\overline{R_H} = \frac{\sum_{i=1}^N R_{Hi}}{N} \quad (\text{B.11})$$

#### B.4 Hiệu chỉnh đường chuẩn

Việc hiệu chỉnh đường chuẩn đã xây dựng theo các số liệu thí nghiệm bổ sung cần được tiến hành không ít hơn một lần trong vòng một tháng.

Khi hiệu chỉnh đường chuẩn trên cơ sở các số liệu thí nghiệm bổ sung, cần bổ sung không ít hơn 3 kết quả thí nghiệm. Theo quá trình tích lũy số liệu, cần loại bỏ dần các kết quả thí nghiệm ban đầu, bắt đầu từ các kết quả thí nghiệm cũ hơn sao cho tổng số kết quả thí nghiệm dùng trong xây dựng đường chuẩn không vượt quá 20. Sau khi loại bỏ các kết quả thí nghiệm không thỏa mãn điều kiện (B.6) và bổ sung các kết quả thí nghiệm mới, cần xác định lại đường chuẩn và các thông số của nó theo các công thức từ (B.1) đến (B.11).

#### B.5 Điều kiện áp dụng đường chuẩn

Đường chuẩn chỉ được áp dụng để xác định cường độ bê tông tương ứng với các giá trị chỉ số gián tiếp nằm trong khoảng từ  $H_{\min}$  đến  $H_{\max}$ .

Không áp dụng đường chuẩn để kiểm tra và đánh giá cường độ bê tông khi hệ số tương quan của đường chuẩn nhỏ hơn 0,7 hoặc khi hệ số biến động lớn hơn 0,15.

## Phụ lục C

(Tham khảo)

## Ví dụ thiết lập và đánh giá các thông số của đường chuẩn

**C.1** Trong Phụ lục này trình bày ví dụ tính toán thiết lập và đánh giá các thông số của đường chuẩn của bê tông có cấp cường độ chịu nén từ B20 đến B25.

**C.2** Cường độ bê tông cấp từ B20 đến B25 được kiểm tra trên kết cấu bằng phương pháp siêu âm theo sơ đồ truyền âm gián tiếp. Để xây dựng đường chuẩn giữa vận tốc xung siêu âm và cường độ bê tông ở tuổi 28 ngày, tại mỗi vùng của kết cấu đã tiến hành song song thí nghiệm siêu âm và thí nghiệm mẫu khoan bê tông theo TCVN 12252:2020. Kết quả thí nghiệm được trình bày tại cột 2 và cột 3 của Bảng C.1.

Bảng C.1 - Số liệu thí nghiệm

Vùng số	Vận tốc xung siêu âm, m/s	Cường độ bê tông, MPa			$\frac{ R_{Hf} - R_{fj} }{S}$		Ghi chú
		theo thí nghiệm $R_{fj}$	theo đường chuẩn $R_{Hf}$		chưa xử lý	đã xử lý	
			chưa xử lý	đã xử lý			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3 245	20,8	22,8	23,3	0,47	0,71	-
2	2 470	13,6	11,6	11,3	0,47	0,66	-
3	3 095	22,6	20,6	21,0	0,47	0,46	-
4	2 870	15,6	17,4	17,5	0,42	0,54	-
5	4 320	37,3	38,4	40,0	0,26	0,77	-
6	3 615	33,5	28,2	29,1	1,24	1,26	-
7	2 655	14,2	14,3	14,2	0,02	0,00	-
8	3 780	30,7	30,6	31,6	0,02	0,26	-
9	3 490	21,8	26,4	27,1	1,07	1,51	-
10	3 840	38,1	31,5	32,6	1,54	1,57	-
11	3 400	30,3	25,1	25,7	1,21	1,31	-
12	3 255	22,5	23,0	23,5	0,12	0,29	-
13	3 940	35,8	32,9	34,1	0,68	0,49	-
14	4 070	33,1	34,8	36,1	0,40	0,86	-
15	3 340	23,2	24,2	24,8	0,23	0,46	-
16	2 940	15,6	18,4	18,6	0,65	0,86	-
17	3 130	17,5	21,2	21,6	0,86	1,17	-
18	3 305	29,7	23,7	24,3	1,40	1,54	-
19	3 765	20,1	30,4	-	2,40	-	loại bỏ



**C.3** Giá trị trung bình của cường độ theo kết quả thí nghiệm  $\overline{R_f}$  và của vận tốc xung siêu âm  $\overline{V}$  được tính toán theo công thức (B.4) và (B.5).

$$\overline{R_f} = \frac{20,8 + 13,6 + \dots + 20,1}{19} = 25,05 \text{ MPa}$$

$$\overline{V} = \frac{3245 + 2470 + \dots + 3765}{19} = 3396 \text{ m/s}$$

Hệ số  $a$  và  $b$  được tính toán theo công thức (B.2) và (B.3).

$$a = \frac{(20,8 - 25,05) \times (3245 - 3396) + \dots + (20,1 - 25,05) \times (3765 - 3396)}{(3245 - 3396)^2 + \dots + (3765 - 3396)^2} = 0,0145$$

$$b = 25,05 - 0,0145 \times 3396 = -24,23$$

Đường chuẩn thu được có thể mô tả bằng phương trình:

$$R = 0,0145 \times V - 24,23$$

Độ lệch chuẩn của đường chuẩn được tính toán theo công thức (B.7) như sau:

$$S = \sqrt{\frac{(20,8 - 22,8)^2 + (13,6 - 11,6)^2 + \dots + (20,1 - 30,4)^2}{19 - 2}} = 4,29 \text{ MPa}$$

So sánh các cặp giá trị cường độ thực tế  $R_f$  và cường độ tính toán theo đường chuẩn  $R_{th}$  (xem Bảng C.1) có thể thấy rằng, vùng số 19 có các giá trị không thỏa mãn điều kiện (B.6). Do đó, kết quả thí nghiệm tại vùng này bị loại bỏ.

**C.4** Sử dụng kết quả thí nghiệm tại 18 vùng còn lại để tính toán giá trị trung bình của cường độ theo kết quả thí nghiệm  $\overline{R_f}$  và của vận tốc xung siêu âm  $\overline{V}$ , hệ số  $a$  và  $b$  cũng như độ lệch chuẩn của đường chuẩn:

$$\overline{R_f} = \frac{20,8 + 13,6 + \dots + 29,7}{18} = 25,33 \text{ MPa}$$

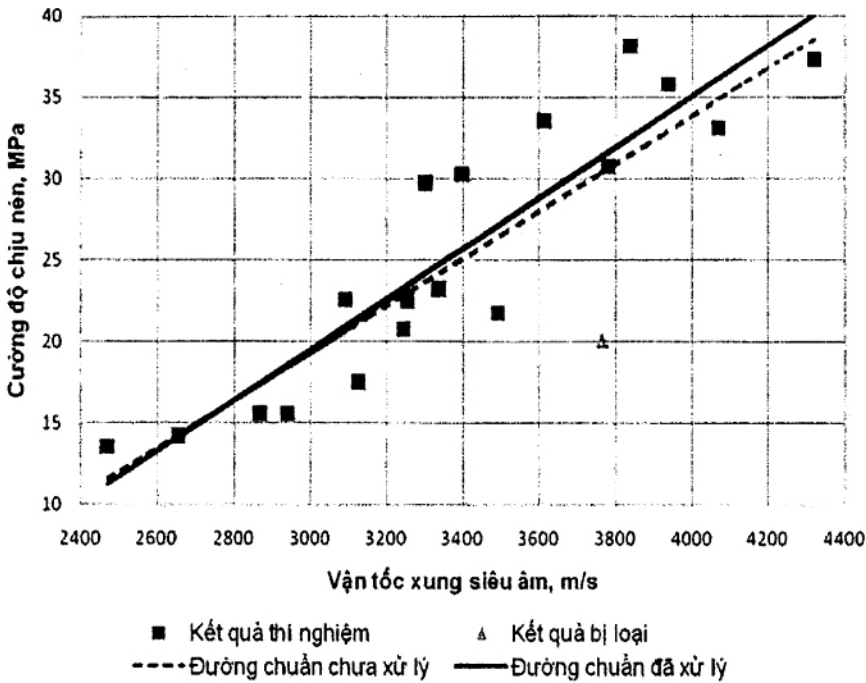
$$\overline{V} = \frac{3245 + 2470 + \dots + 3305}{18} = 3375 \text{ m/s}$$

$$a = \frac{(20,8 - 25,33) \times (3245 - 3375) + \dots + (29,7 - 25,33) \times (3305 - 3375)}{(3245 - 3375)^2 + \dots + (3305 - 3375)^2} = 0,0155$$

$$b = 25,33 - 0,0155 \times 3375 = -26,96$$

$$S = \sqrt{\frac{(20,8 - 23,39)^2 + (13,6 - 11,3)^2 + \dots + (29,7 - 24,2)^2}{18 - 2}} = 3,5 \text{ MPa}$$

Đối với đường chuẩn xây dựng trên số liệu đã loại bỏ kết quả không phù hợp  $R = 0,0155 \times V - 27,0$  điều kiện (B.6) được đáp ứng tại tất cả các vùng thí nghiệm. Do đó, không cần tiếp tục hiệu chỉnh đường chuẩn này nữa. Đường chuẩn này được trình bày trên đồ thị Hình C.1.



Hình C.1 - Đường chuẩn

Hệ số biến động được tính toán theo công thức (B.9):

$$\nu = \frac{3,5}{25,33} = 0,138$$

Giá trị trung bình của cường độ các vùng xác định theo đường chuẩn đã xây dựng được tính toán theo công thức (B.11):

$$\overline{R_H} = \frac{23,3 + 11,3 + \dots + 24,3}{18} = 25,4 \text{ MPa}$$

## TCVN 13536:2022

Hệ số tương quan của đường chuẩn được tính toán theo công thức (B.10):

$$r = \frac{(23,3 - 25,4) \times (20,8 - 25,33) + \dots + (24,3 - 25,4) \times (29,7 - 25,33)}{\sqrt{(23,3 - 25,4)^2 + \dots + (24,3 - 25,4)^2} \times \sqrt{(20,8 - 25,33)^2 + \dots + (29,7 - 25,33)^2}} = 0,91$$

Giá trị vận tốc xung siêu âm nhỏ nhất là  $V_{\min} = 2470$  m/s và lớn nhất là  $V_{\max} = 4320$  m/s.

Đường chuẩn thu được có  $r = 0,91 > 0,7$  và  $\nu = 0,138 < 0,15$ , thỏa mãn yêu cầu theo B.5.

**C.5** Theo TCVN 13536:2022, đường chuẩn  $R = 0,0155 \times V - 27,0$  được phép sử dụng để xác định cường độ bê tông trên kết cấu khi vận tốc xung siêu âm đo được có giá trị từ 2 470 m/s đến 4 320 m/s (cường độ bê tông từ 11,3 MPa đến 40 MPa).

## Phụ lục D

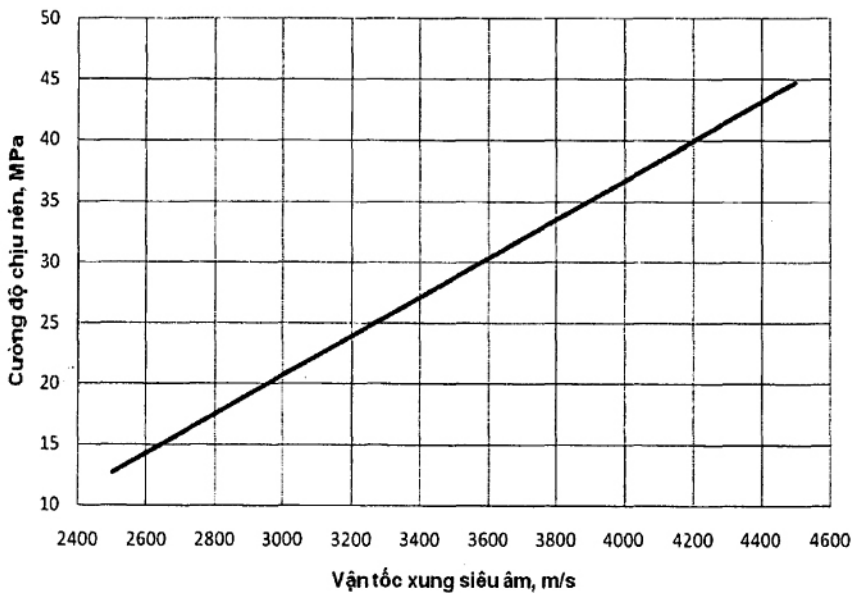
(Tham khảo)

### Đường chuẩn chung

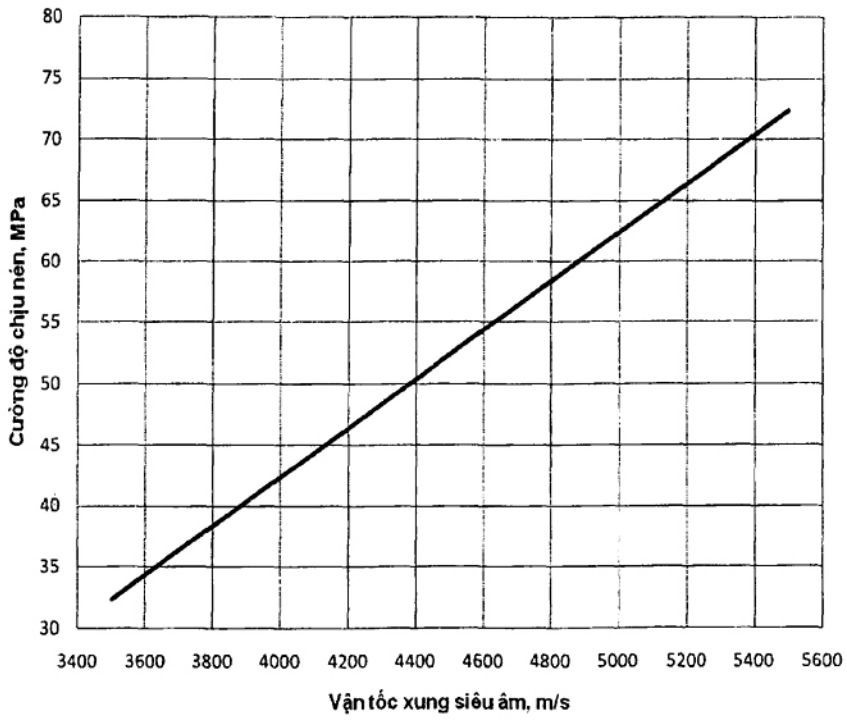
Đường chuẩn chung cho bê tông nặng trình bày tại Phụ lục này được xây dựng trên cơ sở kết quả thí nghiệm bê tông ở tuổi từ 20 ngày đến 30 ngày theo sơ đồ truyền âm gián tiếp với chiều dài đường truyền 150 mm.

Đường chuẩn chung được xây dựng trên cơ sở kết quả thí nghiệm bê tông có cấp cường độ chịu nén thiết kế từ B7,5 đến B35 có dạng  $R = 0,016 \times V - 27,3$  được trình bày tại Hình D.1.

Đường chuẩn chung được xây dựng trên cơ sở kết quả thí nghiệm bê tông có cấp cường độ chịu nén thiết kế từ B35 đến B60 có dạng  $R = 0,02 \times V - 37,6$  được trình bày tại Hình D.2.



Hình D.1 - Đường chuẩn xây dựng theo kết quả thí nghiệm bê tông cấp cường độ từ B7,5 đến B35



Hình D.2 - Đường chuẩn xây dựng theo kết quả thí nghiệm bê tông cấp cường độ từ B35 đến B60

## Phụ lục E

(Quy định)

## Phương pháp quy đổi đường chuẩn

E.1 Quy đổi giá trị cường độ bê tông xác định theo đường chuẩn đã xây dựng trước đó cho bê tông khác với bê tông thử nghiệm được thực hiện bằng cách nhân giá trị cường độ đó với hệ số quy đổi ( $K_{qd}$ ) được xác định theo công thức:

$$K_{qd} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{R_{yf}}{R_{iH}}}{n} \quad (E.1)$$

trong đó:

$R_{yf}$  là cường độ bê tông vùng thứ  $i$ , được xác định bằng thí nghiệm nén mẫu khoan hoặc bằng thí nghiệm kéo nhỏ, tính bằng megapascal (MPa);

$R_{iH}$  là cường độ bê tông vùng thứ  $i$ , được tính toán theo đường chuẩn đã được xây dựng trước đó, tính bằng megapascal (MPa);

$n$  là số lượng vùng thí nghiệm, được lấy không ít hơn 3 vùng.

E.2 Khi tính toán hệ số quy đổi cần phải đảm bảo các yêu cầu sau:

- từng giá trị  $\frac{R_{yf}}{R_{iH}}$  phải nằm trong khoảng từ 0,7 đến 1,3:

$$0,7 \leq \frac{R_{yf}}{R_{iH}} \leq 1,3 \quad (E.2)$$

- từng giá trị  $\frac{R_{yf}}{R_{iH}}$  không được chênh lệch quá 15% so với hệ số quy đổi đường chuẩn:

$$0,85 \times K_{qd} \leq \frac{R_{yf}}{R_{iH}} \leq 1,15 \times K_{qd} \quad (E.3)$$

Các giá trị  $\frac{R_{yf}}{R_{iH}}$  không thỏa mãn các yêu cầu trên sẽ không được sử dụng trong tính toán hệ số quy đổi đường chuẩn.

**Phụ lục F**

(Quy định)

**Chỉ định số vùng thí nghiệm cho kết cấu đúc sẵn và kết cấu đổ tại chỗ**

**F.1** Khi kiểm tra cường độ bê tông đúc sẵn (cường độ xuất xưởng hoặc cường độ truyền ứng lực), với mỗi loại cấu kiện, cần kiểm tra không ít hơn 10% số lượng cấu kiện và không ít hơn 12 cấu kiện trong lô. Nếu lô bao gồm 12 cấu kiện hoặc ít hơn, cần kiểm tra toàn bộ các cấu kiện trong lô. Khi đó, số lượng vùng thí nghiệm cần phải:

- không ít hơn 1 vùng cho 4 m dài đối với cấu kiện dạng thanh;
- không ít hơn 1 vùng cho 4 m<sup>2</sup> đối với cấu kiện dạng bản.

**F.2** Khi kiểm tra cường độ bê tông thi công toàn khối ở tuổi trung gian, với mỗi loại kết cấu (cột, tường, sàn, dầm, ...) cần kiểm tra không ít hơn một kết cấu trong lô.

**F.3** Khi kiểm tra cường độ bê tông thi công toàn khối ở tuổi thiết kế, cần kiểm tra toàn bộ các kết cấu trong lô. Khi đó, số lượng vùng thí nghiệm cần phải:

- không ít hơn 3 vùng cho mỗi khối đổ đối với kết cấu dạng bản (tấm tường, sàn, móng);
- không ít hơn 1 vùng cho 4 m dài (hoặc 3 vùng cho mỗi khối đổ) đối với mỗi kết cấu dạng thanh nằm ngang (dầm, giằng);
- không ít hơn 6 vùng cho mỗi kết cấu dạng thanh nằm thẳng đứng (cột, trụ).

**F.4** Tổng số vùng thí nghiệm cần thiết để tính toán độ đồng nhất cường độ bê tông của lô kết cấu không được ít hơn 20.

**F.5** Lựa chọn giá trị cường độ đơn khi sử dụng các phương pháp không phá hủy xác định cường độ bê tông tuân thủ theo 7.6 của TCVN 10303:2014.

---