

NGHIÊN CỨU TƯƠNG QUAN GIỮA ĐỘ SỤT VÀ ĐỘ CHẢY BÀN DẦN CỦA HỖN HỢP BÊ TÔNG

Đoàn Thị Thu Lương, Lê Như Hoàng, Khuất Trung Kiên

Viện Khoa học công nghệ xây dựng

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses1-13>

TÓM TẮT: Tính công tác của hỗn hợp bê tông có thể được đánh giá bằng nhiều phương pháp tiêu chuẩn khác nhau như chỉ số Vebe, độ sụt và độ chảy bàn dần... Nghiên cứu này được thực hiện tại Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng nhằm phân tích mối quan hệ giữa độ sụt và độ chảy bàn dần trên cơ sở số liệu thí nghiệm. Kết quả cho thấy mối tương quan giữa hai chỉ tiêu này phụ thuộc mạnh vào đặc trưng lưu biến và mức độ linh động của hỗn hợp. Trong vùng độ sụt thấp đến trung bình, tồn tại mối tương quan tuyến tính rõ rệt. Ngược lại, ở vùng độ sụt cao hơn 20 cm, phép thử độ sụt giảm độ nhạy, trong khi độ chảy bàn dần vẫn phản ánh tốt sự khác biệt giữa các hỗn hợp, thể hiện đúng hơn hành vi biến dạng dưới tác động va đập nhẹ. Ở vùng trung gian với độ sụt từ 14 cm đến 20 cm, quan hệ giữa hai đại lượng biến thiên không ổn định, chịu ảnh hưởng đồng thời của ứng suất chảy và độ nhớt dẻo, phù hợp với các kết quả nghiên cứu quốc tế. Kết quả nghiên cứu khẳng định ưu thế của phép thử bàn dần trong đánh giá hỗn hợp có độ linh động cao và cung cấp cơ sở thực nghiệm quan trọng cho việc lựa chọn phương pháp kiểm tra phù hợp theo từng dải độ linh động của bê tông.

TỪ KHÓA: Bê tông; hỗn hợp bê tông; độ sụt; độ chảy bàn dần; tính công tác.

ABSTRACT: The workability of fresh concrete can be evaluated using various standardized methods, such as the vebe test, the slump test, and the flow table test. This study was carried out at The Vietnam Institute for Building Science and Technology to analyse the relationship between slump and flow spread based on experimental data. The results show that the correlation between these two parameters strongly depends on the rheological characteristics and the flowability level of the concrete mixture. In the low to medium slump range, a clear linear correlation is observed. In contrast, in the high slump range (slump > 200 mm), the slump test loses its sensitivity, whereas the flow table test continues to effectively distinguish between different mixtures and better reflects their deformation behaviour under light impact. In the intermediate slump range (140 - 200 mm), the relationship between the two parameters becomes unstable, being simultaneously influenced by yield stress and plastic viscosity, which is consistent with international research findings. The results confirm the advantages of the flow table test in assessing high-flowability concrete mixtures and provide important experimental evidence for selecting appropriate testing methods according to different levels of concrete workability.

KEYWORDS: Concrete; fresh concrete; slump test; flow table test; workability.

1. GIỚI THIỆU

Đánh giá tính công tác là một trong những bước quan trọng nhất để đảm bảo khả năng thi công, độ đặc chắc và chất lượng của kết cấu bê tông. Trong giai đoạn hiện nay, khi các loại bê tông có độ linh động cao được sử dụng ngày càng phổ biến thì các phương pháp xác định tính công tác của hỗn hợp bê tông cũng được phát triển để phù hợp với đặc tính từng loại bê tông. Trong đó, thí nghiệm độ sụt (slump test) đo biến dạng theo phương thẳng đứng của hỗn hợp bê tông, trong

khi độ chảy bàn dần (flow table test) phản ánh khả năng biến dạng theo phương ngang khi có rung nhẹ. Đối với các hỗn hợp có độ dẻo cao hoặc sử dụng phụ gia siêu dẻo, giá trị độ sụt thường đạt cực đại và không còn phản ánh đúng tính công tác. Vì vậy, việc thiết lập mối tương quan giữa hai phương pháp là cần thiết để đảm bảo kiểm soát chất lượng chính xác trong sản xuất và thi công [1 - 4].

Các nghiên cứu [1, 2, 4, 5] đều cho thấy khi độ sụt nằm trong khoảng thấp đến trung bình

($S \leq 180$ mm), quan hệ giữa độ sụt (S) và đường kính bàn dằn (F) có thể xem là tuyến tính. Trong giai đoạn này, biến dạng của hỗn hợp chịu chi phối chủ yếu bởi ứng suất chảy (yield stress), là giá trị ứng suất tối thiểu cần thiết để vật liệu bắt đầu biến dạng dẻo. Cả hai phương pháp đều phản ánh tốt sự thay đổi này. Nghiên cứu [5] đã chứng minh khi độ sụt nằm trong khoảng thấp đến trung bình ($S \leq 180$ mm), độ dốc của quan hệ S-F gần như không phụ thuộc vào độ nhớt dẻo mà chủ yếu phụ thuộc vào ứng suất chảy, do đó có thể sử dụng thay thế tương đối giữa hai phương pháp kiểm tra.

Khi độ sụt vượt quá khoảng 180 mm, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra quan hệ giữa S và F trở nên phi tuyến rõ rệt. Tổng hợp các dữ liệu thực nghiệm [1] cho thấy độ sụt không còn độ chính xác tin cậy khi S tiến gần 250 mm, trong khi độ chảy bàn dằn vẫn phản ánh tốt sự khác biệt của các hỗn hợp có độ chảy cao. Các nghiên cứu lưu biến [2] đã xác định ngưỡng này một cách định lượng, cho thấy độ sụt không còn tỷ lệ thuận với tính công tác khi S lớn. Nghiên cứu trên bê tông tự lèn [3] đã khẳng định độ chảy bàn dằn là phương pháp bắt buộc để phân biệt các hỗn hợp có đường kính chảy từ 500 - 700 mm, trong khi độ sụt đều cho giá trị tối đa. Các khuyến nghị [6,7] cũng đưa ra kết luận tương tự cho bê tông tự lèn.

Một số nghiên cứu tập trung vào mối tương quan giữa các phép thử hiện trường và các thông số lưu biến [1,5] đã chứng minh độ sụt chủ yếu phản ánh ứng suất chảy, trong khi độ chảy bàn dằn thể hiện cả ứng suất chảy và độ nhớt dẻo. Nghiên cứu [2,8] cũng chỉ ra đường kính bàn dằn có mối tương quan tốt với thông số lưu biến đo bằng thiết bị Rheometer, đặc biệt đối với hỗn hợp có độ chảy cao.

Nghiên cứu [4] đã xây dựng phương trình hồi quy phi tuyến $F = a + b \cdot S + c \cdot S^2$ để mô tả mối quan hệ giữa S và F cho bê tông sử dụng phụ gia siêu dẻo. Mô hình này đạt hệ số tương quan $R^2 > 0,9$ cho nhiều cấp phối khác nhau. Báo cáo các mô hình tương tự cho bê tông tự lèn cũng được [9] thiết lập và công bố. Theo [2] thì mô hình phi tuyến phù hợp hơn tuyến tính khi $S > 180$ mm, đặc biệt đối với hỗn hợp có độ nhớt thấp.

Các nghiên cứu quốc tế đều đi đến các kết luận tương đồng cho thấy ở vùng độ sụt thấp - trung bình, quan hệ S-F gần tuyến tính; ở vùng độ sụt cao, quan hệ này phi tuyến và độ chảy bàn dằn

là phương pháp phản ánh tốt hơn tính công tác thực tế; độ chảy bàn dằn có tương quan tốt hơn với thông số lưu biến; và mô hình phi tuyến (bậc hai) mô tả tốt nhất mối quan hệ giữa hai phép thử. Những kết luận này có thể áp dụng trong thực tế Việt Nam để nâng cao độ chính xác kiểm soát chất lượng hỗn hợp bê tông, đặc biệt khi sử dụng phụ gia siêu dẻo và sản xuất bê tông tự lèn. Việc biên soạn tiêu chuẩn quốc gia về phương pháp thử xác định độ chảy bàn dằn của hỗn hợp bê tông rất cần thiết nhằm hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn đánh giá các chỉ tiêu xác định tính công tác của hỗn hợp bê tông.

Bài báo này trình bày nghiên cứu về tương quan tính công tác của hỗn hợp bê tông được xác định theo phương pháp đo độ sụt và phương pháp đo độ chảy bàn dằn tại Việt Nam.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Theo định hướng hài hòa hệ thống tiêu chuẩn quốc gia với bộ tiêu chuẩn châu Âu, nghiên cứu này lựa chọn áp dụng các phương pháp thử độ sụt (EN 12350-2) và độ chảy bàn dằn (EN 12350-5) trong chuỗi EN 12350 - Testing fresh concrete. Đây là hai phương pháp cơ bản, có khả năng phản ánh đặc trưng biến dạng của hỗn hợp bê tông theo hai cơ chế khác nhau: biến dạng theo phương thẳng đứng khi đỡ côn Abrams và biến dạng lan tỏa theo phương ngang dưới tác động va đập nhẹ của bàn dằn. Việc áp dụng đồng thời hai phép thử cho phép đánh giá toàn diện hơn tính công tác trong các vùng độ linh động khác nhau, từ đó xác định giới hạn áp dụng và khả năng thay thế tương đối của từng phương pháp.

Phương pháp nghiên cứu được thiết kế theo hướng kết hợp phân tích lý thuyết, tổng quan tài liệu khoa học quốc tế và thực nghiệm trong phòng thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm được xử lý thống kê và biện luận nhằm xác định mối quan hệ giữa giá trị độ sụt và đường kính chảy bàn dằn, kết nối với các nghiên cứu đã công bố trên thế giới.

Nghiên cứu thực hiện tại Viện Khoa học công nghệ xây dựng đã sử dụng vật liệu sẵn có tại Việt Nam.

Xi măng có khối lượng riêng 3,07 g/cm³; bề mặt riêng 3.780 cm²/g; lượng sót trên sàng 0,09 mm là 1,1%; độ dẻo tiêu chuẩn 29,5%. Thời gian đông kết: bắt đầu 160 phút, kết thúc 210 phút. Cường độ uốn đạt 6,5 MPa (3 ngày) và 9,7 MPa (28 ngày); cường độ nén 30,9 MPa (3 ngày) và 48,1 MPa

(28 ngày), phù hợp yêu cầu sử dụng trong bê tông kết cấu thông dụng.

Cốt liệu nhỏ có khối lượng riêng 2,66 g/cm³; khối lượng thể tích bão hòa nước (SSD) 2,64 g/cm³; khối lượng thể tích khô (OD) 2,62 g/cm³; độ hút nước 0,6%; khối lượng thể tích xấp 1.440 kg/m³; mô đun độ lớn 2,6; lượng hạt > 5 mm là 8,5%; bụi - bùn - sét 0,5%; tạp chất hữu cơ sáng hơn màu chuẩn. Thành phần hạt qua sàng cho thấy phần trăm sót tích lũy đặc trưng: 11,4% (2,5 mm), 25,6% (1,25 mm), 46,2% (0,63 mm), 80,6% (0,315 mm) và 97,6% (0,14 mm).

Cốt liệu lớn là đá dăm Hà Nam Dmax 20 mm: khối lượng riêng 2,76 g/cm³; SSD 2,74 g/cm³; OD 2,72 g/cm³; độ hút nước 0,5%; khối lượng thể tích xấp 1.430 kg/m³; độ rỗng 47,4%; hạt thoi dẹt 9%; bụi - bùn - sét 0,7%; độ nén dập 10%. Thành phần hạt theo sàng cho thấy phần trăm sót tích lũy đạt khoảng 4,9% ở 20 mm; 67,5% ở 10 mm và 96,5% ở 5 mm, phản ánh đường cấp phối liên tục, phù hợp cho cấp phối bê tông cường độ thường.

Cấp phối thí nghiệm trình bày tại Bảng 1.

Bảng 1: Cấp phối thí nghiệm

Ký hiệu	Thông số CP	Thành phần cấp phối quy đổi về 1 m ³						
		XM kg	C kg	Đ kg	N L	PG L	PGK kg	N/Xi
M1	M200, Dmax 20,	306	740	1.176	214	0	0	0,699
M2	M300, Dmax 20, PG: SPR 1500	352	830	1.077	184	2	0	0,528
M3	M500, Dmax 20	520	733	1.060	179	5	0	0,354
M4	M500, Dmax 20	541	710	1.061	187	5	0	0,355
M5	M300, Dmax 20, PG: Vitec SD 1268, Cát sông phối cát nghiền theo tỷ lệ 60:40	336	815	1.040	174	3,95	59	0,451

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Các giá trị độ sụt và độ chảy bàn dần xác định được trình bày trong Bảng 2. Thí nghiệm xác định

độ sụt và độ chảy bàn dần được thực hiện bởi hai thí nghiệm viên. (Hình 1, 2).

Bảng 2: Kết quả thí nghiệm

Ký hiệu	Độ sụt, mm						Độ chảy bàn dần, mm	
	Thí nghiệm viên 1			Thí nghiệm viên 2			Thí nghiệm viên 1	Thí nghiệm viên 2
	Lần 1	Lần 2	TB	Lần 1	Lần 2	TB		
M1	90	90	90	80	90	90	400	410
M2	140	130	140	130	130	130	470	460
M3	200	190	200	200	210	210	560	570
M4	Không đo được độ sụt						630	620
M5	140	140	140	130	140	140	370	360

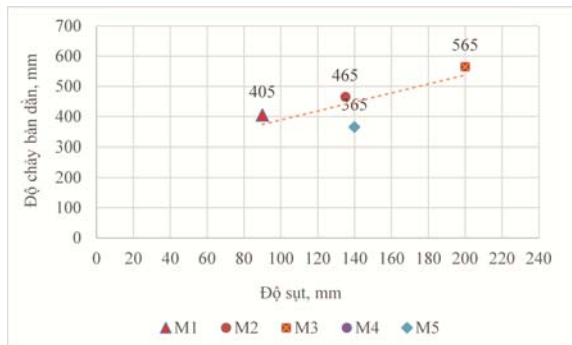
Kết quả Bảng 2 cho thấy, với cùng một mẻ trộn, giá trị độ sụt và độ chảy bàn dần đo được bởi hai thí nghiệm viên cho kết quả tương đồng, sai lệch ± 10 mm. Kết quả xác định độ chảy bàn dần của hỗn hợp bê tông đảm bảo tính đại diện.



Hình 1: Thí nghiệm độ sụt của HHTB



Hình 2: Độ chảy bàn dần của HHTB



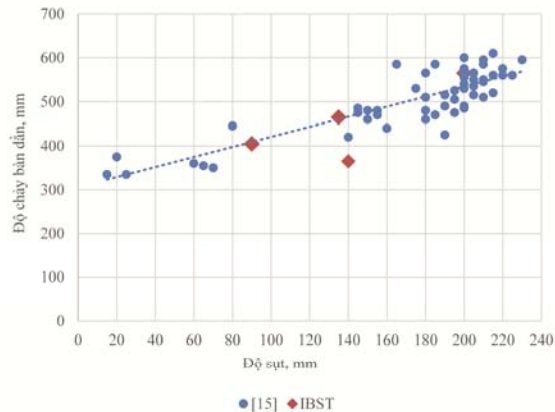
Hình 3: Mối quan hệ độ sụt và độ chảy bàn dần

Biểu đồ Hình 3 phản ánh rõ mối tương quan giữa độ sụt (S) và độ chảy bàn dần (F).

Đối với các mẫu có độ sụt thấp đến trung bình (M1, M2, M5), giá trị độ sụt và độ chảy bàn dần tăng tương đối đồng bộ, thể hiện mối quan hệ gần tuyến tính giữa hai phép thử. Điều này phù hợp với lý thuyết về ứng xử của hỗn hợp bê tông trong vùng ứng suất chảy chỉ phối: khi lượng nước tương đối tăng, cả độ sụt và độ chảy đều phản ánh sự gia tăng tính công tác theo cùng một xu hướng.

Tuy nhiên, ở mẫu M3 ($N/X_i = 0,354$) và M4 ($N/X_i = 0,355$), mối tương quan này không còn duy trì theo quy luật tuyến tính. Mẫu M3 có độ sụt đạt 200 mm nhưng độ chảy chỉ ở mức 565 mm, thấp hơn mức tăng tương ứng ở các mẫu có S thấp hơn, cho thấy hiện tượng phi tuyến ở vùng chảy cao: khi độ sụt tiến gần tới giới hạn đo của côn thử độ sụt, phép thử mất dần độ nhạy, dẫn đến việc giá trị S tăng nhanh hơn so với F. Ngược lại, mẫu M4 không đo được độ sụt nhưng độ chảy đạt 625 mm, minh chứng cho khả năng mô tả tốt hơn tính công tác của phương pháp bàn dần trong vùng hỗn hợp có độ linh động cao mà phương pháp đo độ sụt không còn phù hợp.

Sự lệch quy luật của M3 và M4 so với nhóm M1, M2, M5 nhấn mạnh quan hệ S-F chỉ mang tính tuyến tính ở vùng độ sụt thấp-trung bình, còn ở vùng chảy cao cần sử dụng phương pháp bàn dần để phản ánh chính xác đặc trưng biến dạng của hỗn hợp bê tông. Quy luật này cũng tương đương với kết luận của nghiên cứu [4, 14].



Hình 4: Quan hệ độ sụt và độ chảy bàn dần của hỗn hợp bê tông thực hiện tại Viện Khoa học công nghệ xây dựng và theo nghiên cứu [15]

Biểu đồ Hình 4 thể hiện mối quan hệ tương quan giữa độ sụt và độ chảy bàn dần của các hỗn hợp bê tông, được tổng hợp từ kết quả thí nghiệm của nghiên cứu thực hiện tại Viện Khoa học công nghệ xây dựng và nghiên cứu [15]. Việc sắp xếp dữ liệu theo chiều tăng dần của giá trị độ sụt cho phép phân tích toàn diện mối quan hệ giữa hai phương pháp thử trên một phổ rộng các cấp phối. Mặc dù các hỗn hợp có sự khác biệt đáng kể về vật liệu cấu thành, thành phần cấp phối và loại cũng như lượng phụ gia, biểu đồ vẫn cho thấy rõ sự xuất hiện của ba vùng hành vi đặc trưng, phù hợp với xu hướng được ghi nhận trong các nghiên cứu quốc tế.

Trong vùng độ sụt thấp đến trung bình ($S < 14$ cm), độ sụt và độ chảy bàn dần thể hiện mối tương quan tuyến tính rõ rệt. Cả hai phương pháp thử phản ánh nhất quán sự thay đổi về tính công tác, cho thấy ở vùng này, phép thử độ sụt vẫn là chỉ tiêu tin cậy để đánh giá đặc tính lưu biến của hỗn hợp bê tông. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây, vốn đã chứng minh mối liên hệ chặt chẽ giữa độ sụt và ứng suất chảy của bê tông thông thường và bê tông dẻo vừa [14].

Ngược lại, trong vùng độ sụt cao ($S > 20$ cm), mối tương quan giữa hai đại lượng bắt đầu phân kỳ rõ rệt: giá trị độ chảy bàn dần tiếp tục tăng trong khi độ sụt trở nên kém nhạy, với những khác biệt

nhỏ về độ sụt tương ứng với sự thay đổi lớn về độ chảy. Hiện tượng này khẳng định lại nhận định phép thử độ sụt mất khả năng phân biệt trong vùng hỗn hợp có độ linh động cao, trong khi phép thử bàn dằn vẫn phản ánh tốt sự biến thiên về ứng suất chảy và độ nhớt dẻo. Nhận định này cũng phù hợp với tiêu chuẩn EN 12350-5, trong đó khuyến nghị sử dụng phép thử bàn dằn để đánh giá tính công tác của bê tông có độ chảy cao.

Vùng trung gian ($14 \text{ cm} \leq S \leq 20 \text{ cm}$) không thể hiện một quy luật tương quan rõ rệt giữa các tập dữ liệu. Sự thiếu ổn định này có thể bắt nguồn từ khác biệt về thành phần cấp phối, loại và kích cỡ cốt liệu, liều lượng và loại phụ gia, cũng như sự biến động của các tham số lưu biến - đặc biệt là độ nhớt dẻo, có thể chưa đạt khoảng tối ưu (60 - 80 Pa.s) đối với tất cả các hỗn hợp [14]. Nghiên cứu [4] cũng ghi nhận không tồn tại một mô hình hồi quy đơn trị nào có thể mô tả chính xác vùng này do ảnh hưởng tương tác phi tuyến giữa ứng suất chảy và độ nhớt.

Tổng hợp lại, các kết quả khẳng định mối quan hệ giữa độ sụt và độ chảy bàn dằn chịu chi phối mạnh bởi hành vi lưu biến của hỗn hợp bê tông và có thể phân chia thành ba vùng phản ứng đặc trưng khi xét trên tập dữ liệu không đồng nhất: vùng độ sụt thấp - tuyến tính rõ rệt, vùng trung gian - tương quan không ổn định và vùng độ sụt cao - nơi phép thử độ sụt mất tính nhạy. Ba vùng này phù hợp với cơ sở lý thuyết và các quan sát thực nghiệm được báo cáo trong các nghiên cứu quốc tế.

Đây cũng là cơ sở thực nghiệm quan trọng để lựa chọn phương pháp kiểm tra thích hợp trong kiểm soát chất lượng bê tông có tính công tác cao theo định hướng EN 206 và EN 12350-5.

4. KẾT LUẬN

Kết quả phân tích số liệu thí nghiệm cho thấy mối tương quan giữa độ sụt (EN 12350-2) và độ chảy bàn dằn (EN 12350-5) phụ thuộc mạnh vào đặc trưng lưu biến và mức độ linh động của hỗn hợp bê tông. Khi độ sụt nằm trong vùng thấp đến trung bình ($S \leq 14 \text{ cm}$), hai đại lượng này có mối tương quan tuyến tính rõ rệt; độ sụt phản ánh tốt ứng suất chảy và có thể sử dụng tương đương với phép thử bàn dằn để đánh giá tính công tác. Trong vùng độ sụt cao ($S > 20 \text{ cm}$), phép thử độ sụt mất tính nhạy, trong khi độ chảy bàn dằn vẫn phân biệt tốt sự khác biệt giữa các hỗn hợp, phản ánh đúng hơn hành vi biến dạng dưới tác động va đập nhẹ.

Vùng trung gian (14 - 20 cm) thể hiện sự biến thiên không ổn định, chịu ảnh hưởng đồng thời của ứng suất chảy và độ nhớt dẻo, phù hợp với các kết quả nghiên cứu quốc tế.

Những kết quả này khẳng định tính ưu việt của phép thử bàn dằn trong đánh giá hỗn hợp bê tông có độ linh động cao, đồng thời cho thấy mô hình phi tuyến (bậc hai) là phù hợp để mô tả mối quan hệ giữa độ sụt và độ chảy ở vùng chảy cao. Đây là cơ sở thực nghiệm quan trọng cho việc lựa chọn phương pháp kiểm tra phù hợp theo từng dải độ linh động của bê tông.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ferraris, C. F. (1999). Measurement of the rheological properties of high-performance concrete: State of the art report. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology.
- [2] Wallevik, O. H. (2003). Rheology of particle suspensions: fresh concrete, mortar and cement paste with various types of lignosulfonates. Cement and Concrete Research.
- [3] Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-Compacting Concrete. Journal of Advanced Concrete Technology.
- [4] Khayat, K. H., et al. (2004). Flow table versus slump test correlations for superplasticized concrete. ACI Materials Journal.
- [5] Tattersall, G. H. (1970-1990). Various studies on concrete rheology and workability. Cement and Concrete Research.
- [6] EFNARC (1998). Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete.
- [7] Ozawa, K., Maekawa, K., Kunishima, M., Okamura, H. (1994). Performance of self-compacting concrete. Proceedings of JSCE.
- [8] Roussel, N., & Coussot, P. (1990-2000). Modelling of concrete flow. Cement and Concrete Research.
- [9] Assaad, J., & Khayat, K. H. (2002). Correlation between slump flow and rheological properties of SCC. ACI Materials Journal.
- [10] EN 12350-5:2019. Testing fresh concrete - Part 5: Flow table test.
- [11] EN 206. Concrete - Specification, performance, production and conformity.

- [12] EN 12350 (Series). Testing fresh concrete - Parts 1-12.
- [13] TCVN 1-2:2008. Xây dựng tiêu chuẩn - Phần 2: Quy định về trình bày và thể hiện nội dung TCVN.
- [14] Laskar, A. I. (2009). Correlating Slump, Slump Flow, Vebe and Flow Tests to Rheological Parameters of High-Performance Concrete. *Materials Research*, 12(1), 75-81.
- [15] Ivanov, G., Hrishev, L., & Rostovsky, I. (2024). Study of the consistency of fresh concrete by slump test and flow table test - focus on lateral pressure on formwork. *Engineering Sciences*, LXI (4), 27-42. DOI: 10.7546/EngSci.LIX.24.04.03.