

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG ĐƯỜNG CONG SẬP ĐỔ NHÀ KHUNG BÊ TÔNG CỐT THÉP CHỊU TÁC ĐỘNG CỦA CHIỀU SÂU NGẬP NƯỚC VÀ VẬN TỐC DÒNG CHẢY TRONG VÙNG LŨ LỤT Ở VIỆT NAM

Lương Thị Thanh Hương^{1*}, Đoàn Xuân Quý¹, Nguyễn Cảnh Thái¹

¹Trường Đại học Thủy lợi

*Email: thanhhuong@tlu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu phát triển mô hình đường cong sập đổ cho nhà khung bê tông cốt thép dựa trên chiều sâu và vận tốc dòng chảy, để xác định khả năng chống chịu của nhà trước tác động của lũ lụt. Nghiên cứu đã thiết lập cơ sở lý thuyết và quy trình phân tích để xây dựng đường cong sập đổ nhà dựa trên các tiêu chuẩn xây dựng ở Việt Nam, trong đó xét đến áp lực thủy tĩnh, thủy động, tải trọng gió và khối lượng bản thân của kết cấu. Kết quả cho thấy, sự khác biệt về khả năng bị sập đổ của nhà khung bê tông cốt thép hai tầng trong trường hợp nước lũ dâng nhanh (như lũ vỡ đập) và lũ dâng chậm (như lũ sông). Nghiên cứu đóng góp cơ sở khoa học về phát triển đường cong sập đổ nhà tại Việt Nam, từ đó ước tính thiệt hại và rủi ro ngập lụt cho nhà cửa trên quy mô rộng, giúp nâng cao khả năng ứng phó với thiên tai lũ lụt và bảo vệ cộng đồng.

Từ khóa: Lũ lụt, đường cong sập đổ, vận tốc dòng chảy, nhà khung bê tông cốt thép, chiều sâu ngập nước.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh hiện đại, các công trình xây dựng nhà đóng vai trò thiết yếu trong việc đảm bảo an toàn cho con người và bảo vệ tài sản. Dưới tác động của biến đổi khí hậu và đô thị hóa, tần suất và cường độ của lũ lụt đang ngày càng gia tăng, làm cho việc đánh giá rủi ro lũ lụt, trong đó có rủi ro lũ lụt đối với các công trình nhà trở nên cấp thiết hơn bao giờ hết. Việc thiết lập đường cong sập đổ do lũ lụt là một công cụ quan trọng trong quản lý rủi ro, giúp hiểu rõ hơn về mức độ thiệt hại của công trình...

Chiều sâu ngập lụt là thông số phổ biến nhất được sử dụng trong đánh giá thiệt hại do lũ lụt [1 - 4]. Tuy nhiên, các nghiên cứu cho thấy, thiệt hại do lũ lụt chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố và xét đến một thông số chiều sâu có thể dẫn đến độ không chắc chắn cao trong kết quả [5, 6]. Thiệt hại do lũ lụt không chỉ tỷ lệ thuận với chiều sâu ngập mà còn phụ thuộc vào vận tốc dòng chảy. Điều này cần được chú ý đối với kết cấu nhà trong vùng lũ lụt, nơi sự kết hợp giữa chiều sâu và vận

tốc có thể gây ra thiệt hại nghiêm trọng hơn [7]. Vận tốc đóng vai trò quan trọng trong dự đoán hư hỏng hoặc độ ổn định của kết cấu xét từ góc độ an toàn, đồng thời cũng là một yếu tố cần xem xét khi ước tính thiệt hại, đặc biệt trong trường hợp lũ lụt do vỡ đập, sóng thần và nước dâng do bão, cũng như các khu vực miền núi nước lũ chảy xiết [8].

Lũ lụt gây ra thiệt hại cho nhà với các mức độ khác nhau. Vận tốc dòng chảy ảnh hưởng đáng kể đến độ ổn định và nguy cơ sập đổ của công trình, có thể xác định thông qua phân tích mô hình kết cấu. Các mức thiệt hại nhẹ hơn ở các tiện ích và hoàn thiện tòa nhà, chẳng hạn như: Hư hỏng cửa, tốc mái, lớp trát sơn, xi măng, kết cấu gỗ, cũng như các hệ thống điện và nước, cần được khảo sát và đánh giá thực tế để có cái nhìn đầy đủ về mức độ thiệt hại xảy ra, không thể được đánh giá trực tiếp thông qua phân tích khả năng chịu tải.

Nghiên cứu của Clausen (1989) [9], Pistrika và cs (2014) [10], Thapa và cs (2020) [11], Pistrika và Jonkman (2010) [12] đã dựa trên sự kết hợp giữa chiều sâu và vận tốc dòng chảy để đánh giá

sự ổn định của các tòa nhà. Các kết quả này đã được áp dụng và so sánh với dữ liệu điều tra thiệt hại thực tế. Tuy nhiên, kết quả các nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, các đường cong sập đổ có xét đến chiều sâu và vận tốc dòng chảy cho nhà có sự khác biệt rõ rệt giữa các loại kết cấu và giữa các khu vực, do sự khác nhau về điều kiện địa lý và tiêu chuẩn xây dựng. Do đó, đường cong sập đổ được phát triển cho một khu vực nhất định không thể áp dụng một cách chính xác cho các khu vực khác. Điều này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc điều chỉnh hoặc xây dựng các đường cong sập đổ phù hợp với các yếu tố địa phương.

Mục tiêu của nghiên cứu này là phát triển một mô hình đường cong sập đổ do lũ lụt cho kết cấu nhà khung bê tông cốt thép (BTCT) có xét đến vận tốc dòng chảy phù hợp với tiêu chuẩn xây dựng và đặc điểm nhà của Việt Nam. Đường cong sập đổ nhà theo chiều sâu - vận tốc, thể hiện mối quan hệ giữa chiều sâu ngập nước và vận tốc dòng chảy, được phát triển nhằm xác định khả năng chống chịu của tòa nhà trước các tác động lũ lụt. Đường cong sập đổ này cũng thể hiện mức độ hư hỏng nghiêm trọng nhất của các tòa nhà dưới tác động của lũ lụt trong các phân mức thiệt hại. Kết quả này không chỉ có giá trị trong lĩnh vực nghiên cứu về kết cấu công trình mà còn có ý nghĩa thực tiễn quan trọng trong việc ước tính thiệt hại trong các kịch bản lũ lụt tính toán, phục vụ quản lý rủi ro và quy hoạch xây dựng trong khu vực lũ lụt.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phân loại lũ và tác động lũ lụt lên nhà

- *Phân loại lũ*: Xét trên quan điểm về tải trọng tác dụng lên công trình, lũ lụt tác động lên công trình được chia thành 2 trường hợp: Lũ dâng chậm (lũ chậm) và lũ dâng nhanh (lũ nhanh) [13]. Việc phân biệt lũ chậm và lũ nhanh tùy thuộc vào tốc độ gia tăng mực nước cũng như vận tốc dòng nước, đặc điểm địa hình khu vực, tuy nhiên chưa nghiên cứu nào định lượng tiêu chí phân biệt hai loại lũ này. Trong nghiên cứu xem xét, lũ chậm là trường hợp lũ sông điển hình, chiều sâu ngập nước tăng chậm cho phép nước thấm vào tòa nhà qua các khe hở nhỏ của cửa ra vào và cửa sổ. Tình trạng này khiến mực nước lũ về cơ bản cân bằng ở hai

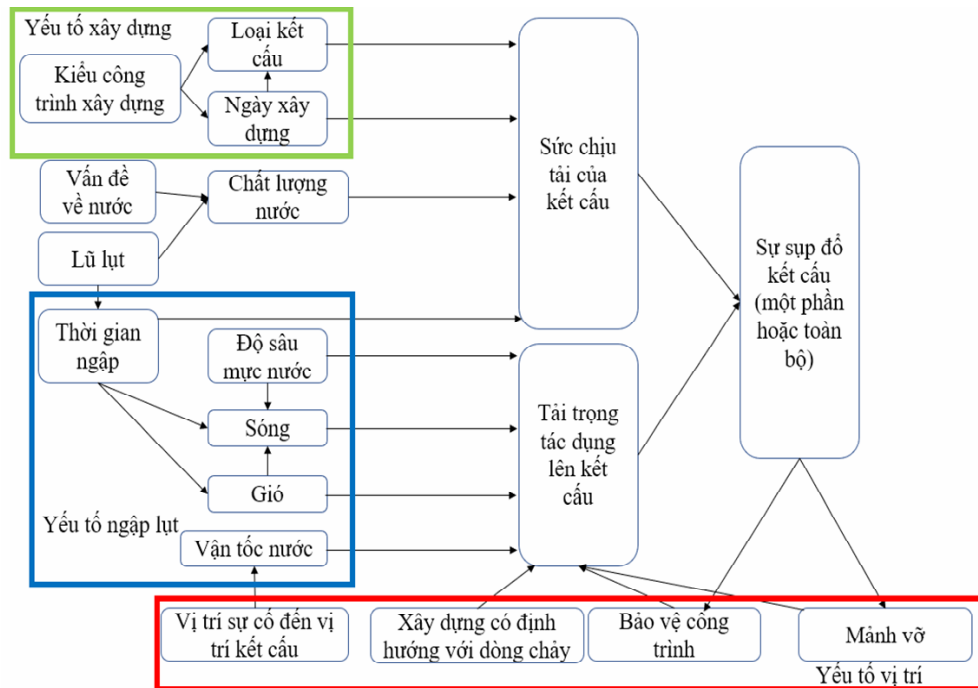
bên tường của một kết cấu nhà, dẫn đến triệt tiêu áp lực thủy tĩnh. Lũ nhanh là hiện tượng không thường xảy ra, khi tốc độ gia tăng mực nước nhanh và nước lũ di chuyển với tốc độ lớn. Hình thức này có thể gây ra bởi các tình huống như: Vỡ đê, đập hay lũ quét, với giả định quan trọng nhất là nước lũ dâng lên đủ nhanh, để nước không thấm vào tòa nhà, bên trong nhà coi như khô ráo. Áp lực thủy tĩnh tác động một bên tường. Đây là tình huống xấu nhất trong khi tính toán tải trọng tác dụng lên kết cấu, đồng thời cũng giả định sự kết hợp giữa chiều sâu nước lũ và vận tốc nước lũ xảy ra tức thời, cho phép tính toán thiệt hại tối đa đối với lũ lụt [13]. Đồng thời, trong các kịch bản xảy ra vỡ đê, đập, chiều sâu ngập nước và vận tốc dòng chảy lớn hơn rất nhiều so với các trường hợp ngập lụt do lũ sông thông thường.

- *Tác động của lũ lụt lên nhà*: Tác động của lũ lụt đến công trình được thể hiện ở hình 1.

Cơ chế phá hoại phụ thuộc vào các yếu tố về xây dựng, tính chất của nước lũ và các thông số về ngập lụt. Yếu tố xây dựng được xét đến là kiểu công trình xây dựng, vật liệu cũng như thời gian xây dựng do ảnh hưởng đến độ bền của vật liệu theo thời gian; nhà xét đến trong nghiên cứu phân loại theo tiêu chuẩn xây dựng của Việt Nam về kiểu công trình và vật liệu xây dựng; yếu tố thời gian xây dựng được bỏ qua khi tính toán trong nghiên cứu này. Dòng nước có hàm lượng bùn cát cao sẽ có tác động lớn hơn so với nước trong, tuy nhiên nghiên cứu chỉ xét đến tác động của nước lên công trình, không xem xét ảnh hưởng dòng mảnh vụn. Các yếu tố ngập lụt như: Chiều sâu mực nước, vận tốc và thời gian ngập lụt cùng với sự kết hợp của sóng, gió có thể tác động đến các công trình; nghiên cứu này chỉ xem xét áp lực thủy tĩnh, áp lực thủy động và tác động của gió. Nếu giá trị nội lực do tổ hợp tải trọng tác dụng lên công trình vượt quá sức bền của kết cấu sẽ dẫn đến sập đổ kết cấu một phần hoặc toàn bộ. Ngoài ra, xói mòn nền móng do nước hoặc bồi lắng trầm tích có thể làm giảm khả năng chịu tải của móng công trình, nhưng các yếu tố này không được xem xét trong nghiên cứu. Thêm vào đó, vị trí xảy ra sự cố công trình, hướng dòng chảy tác động vào kết cấu, các biện pháp bảo vệ công trình cũng đóng vai trò

quan trọng ảnh hưởng đến độ bền của kết cấu. Sự kết hợp của các yếu tố này có thể dẫn đến sập đổ

kết cấu một phần hoặc toàn bộ công trình (Hình 1).



Hình 1. Quan hệ giữa các yếu tố lũ lụt và yếu tố xây dựng đến cơ chế phá hoại [14]

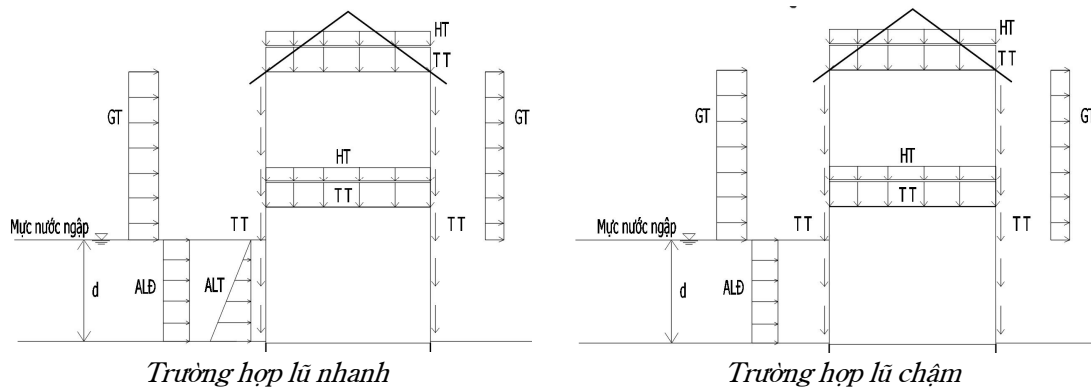
2.2. Xác định các tải trọng và tổ hợp tải trọng

- *Tổ hợp tải trọng tính toán:* Với phân tích như trên, các tải trọng được xét đến trong nghiên cứu bao gồm: Khối lượng bản thân (TT), hoạt tải sử dụng (HT), áp lực thủy tĩnh (ALT), áp lực thủy động (ALĐ) và tải trọng gió (GT). Tổ hợp tải trọng lấy theo TCVN 2737:2023 [15]. Khi nhiều tải trọng

ngắn hạn tác động, hệ số tổ hợp lần lượt là 1; 0,9; 0,7. Hệ số tầm quan trọng xác định theo mức độ quan trọng của công trình, được lấy bằng 1. Tổ hợp tải trọng và các hệ số tổ hợp tải trọng tính toán cho trường hợp lũ nhanh và lũ chậm được thể hiện ở bảng 1 và hình 2.

Bảng 1. Các hệ số tổ hợp tải trọng [15]

Tổ hợp	TT	HT	ALT	ALĐ	GT
Lũ nhanh	1,0	0,9	1,0	1,0	0,7
Lũ chậm	1,0	0,9		1,0	0,7



Hình 2. Sơ đồ tổ hợp lực tính toán

- *Xác định tải trọng*

Áp lực thủy tĩnh và thủy động

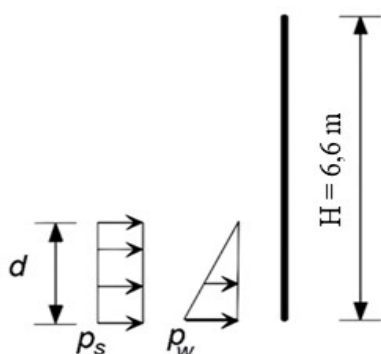
Trong quá trình bị ngập lụt, các công trình sẽ chịu áp lực thủy tĩnh cho đến khi nước vào nhà và không có sự chênh lệch mực nước bên trong, bên ngoài công trình. Tại thời điểm đó, áp lực thủy tĩnh sẽ cân bằng ở cả 2 phía của bức tường và bị triệt tiêu. Giả định trong nghiên cứu, với lũ nhanh, nước không kịp cân bằng mặt trước và sau tường, có áp lực thủy tĩnh tác dụng mặt trước tường. Với lũ chậm, áp lực thủy tĩnh bị triệt tiêu.

Áp lực thủy tĩnh và thủy động của nước lên nhà (đơn vị N/m) (Hình 3) được xác định theo công thức [14]:

$$p_w = \rho g d \quad (1)$$

$$p_s = 1/2 C_D \rho v^2 \quad (2)$$

Trong đó: ρ là dung trọng của nước (1.000 kg/m^3); g là gia tốc trọng trường ($9,81 \text{ m/s}^2$); d là chiều sâu ngập nước (m); v là vận tốc dòng nước (m/s); C_D là hệ số nhám của nước phụ thuộc vào tỉ lệ giữa chiều rộng của tòa nhà tiếp xúc với nước và chiều sâu của nước (từ 1,2 - 2). Trường hợp tác dụng lên tấm phẳng vuông góc với dòng chảy $C_D = 1,2$ (3D); trường hợp tác dụng lên dải vuông góc với dòng chảy $C_D = 2$. Hình 3 cho thấy, áp lực thủy tĩnh và thủy động tác dụng lên một phía của nhà theo chiều cao H (bằng 6,6 m). Trong tính toán, với mỗi giá trị của vận tốc nước sẽ cho chiều sâu ngập nước từ 0 - 6,6 m để khảo sát.



Hình 3. Áp lực thủy động (p_s) và thủy tĩnh (p_w) của nước lên nhà [14]

Áp lực gió

Tác động do gió được xác định trong điều kiện làm việc bình thường của một ngôi nhà khi có gió

xảy ra. Đây được coi là một tác động thường xuyên và hiện có lên công trình ngay cả trong trường hợp có lũ lụt. Giá trị của tải trọng gió (daN/m^2) được xác định theo TCVN 2737:2023 [15]:

$$W_k = W_{3s,10} k(z_e) c G_f \quad (3)$$

Trong đó: $W_{3s,10} = \gamma_T W_0$ là công thức chuyển đổi áp lực gió chu kỳ lặp 20 năm xuống 10 năm với hệ số chuyển đổi bằng $\gamma_T = 0,852$. W_0 là áp lực gió cơ sở theo chu kỳ lặp 20 năm, được tra theo bảng phân vùng áp lực gió theo tiêu chuẩn, trong nghiên cứu này có giá trị bằng 95 daN/m^2 (trong vùng ngập lụt).

Hệ số khí động c (cho gió đẩy – phía trước và gió hút – phía sau nhà) và $k(z_e)$ - hệ số kể đến sự thay đổi áp lực gió theo độ cao và dạng địa hình được tra theo tiêu chuẩn.

G_f là hệ số giật lấy bằng 0,85 (cho nhà có chu kì dao động $T_1 < 1 \text{ s}$). Tác động của gió được khai báo trên 2 cột nhà phía đẩy và phía hút gió ứng với diện chịu tải bằng với khoảng cách giữa hai khung nhà. Tổng hợp tác động của gió lên công trình sau đó được nhân với hệ số tin cậy bằng 2,1. Phạm vi tác động của gió là từ mặt nước tới mái của nhà.

Tải trọng bản thân và hoạt tải sử dụng

Tác động này bao gồm: Khối lượng bản thân của kết cấu, các lớp vật liệu cấu tạo nhà (tường xây, sàn bê tông, sàn mái, các lớp vữa trát, lát sàn, các lớp chống nóng) (được gọi chung là tĩnh tải – TT) và hoạt tải sử dụng lên nhà (HT) (đồ đạc, con người). Giá trị của chúng (TT) được tính toán theo độ dày, khối lượng riêng và giá trị quy định theo tiêu chuẩn (HT), tổng hợp giá trị tác động lên khung được nhân với bước khung (đối với tải trọng phân bố đều trên sàn), hoặc nhân với chiều cao tác động (chiều cao tường) [16], [17].

2.3. Xác định nội lực của khung và nội lực giới hạn

Sau khi xác định được tải trọng cho các trường hợp chiều sâu ngập tương ứng với vận tốc, sử dụng phần mềm ETABS để mô hình hóa. Khung được mô hình bởi các phần tử thanh liên kết với nhau và với móng tại các nút cứng được phần mềm xác định tự động. Các tải trọng tác động được đưa vào mô hình để xác định các giá trị nội lực.

Giá trị nội lực phá hoại tương ứng với chiều sâu ngập nước và các giá trị vận tốc dòng chảy được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 [18].

Tính toán cấu kiện bê tông chịu nén lệch tâm theo nội lực giới hạn

Theo TCVN 5574:2018 [18], tính toán cấu kiện bê tông chịu nén lệch tâm khi lực nén dọc nằm trong phạm vi tiết diện ngang của cấu kiện theo điều kiện:

$$N_e \leq R_b A_b (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') \quad (4)$$

Trong đó: N (kN) là lực dọc tác dụng; e (m) là khoảng cách từ điểm đặt lực dọc N đến trọng tâm tiết diện cốt thép chịu kéo hoặc chịu nén ít hơn (khi toàn bộ tiết diện chịu nén), được xác định theo công thức:

$$e = e_0 \eta + \frac{h_0 - a'}{2} \quad (5)$$

Trong đó: R_b là cường độ chịu nén dọc trục tính toán của bê tông đối với trạng thái giới hạn thứ nhất (kN/m^2); A_b (m^2) là diện tích vùng nén của bê tông, được xác định từ điều kiện trọng tâm trùng với điểm đặt lực dọc N (có kể đến hệ số uốn dọc; R_{sc} là cường độ cốt thép vùng nén (kN/m^2); A'_s là diện tích cốt thép vùng nén (m^2); η là chiều cao vùng chịu nén x (m) và các hệ số tính toán được xác định theo các công thức của tiêu chuẩn; a' (m) là khoảng cách từ mép tiết diện đến trọng tâm cốt thép chịu nén; h_0 (m) là chiều cao tính toán của tiết diện, tính bằng $h - a$ (a là khoảng cách từ mép tiết diện đến trọng tâm cốt thép chịu kéo) với h (m) là chiều cao tiết diện.

Tính toán cấu kiện bê tông chịu uốn theo nội lực giới hạn

Tính toán cấu kiện bê tông chịu uốn được tiến hành theo điều kiện [18]:

$$M \leq M_u \quad (6)$$

Trong đó: M (kNm) là mô men uốn do ngoại lực tác dụng; M_u (kNm) là mô men uốn giới hạn mà tiết diện cấu kiện có thể chịu được. Giá trị M_u đối với cấu kiện chữ nhật được xác định theo công thức:

$$M_u = R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') \quad (7)$$

x (m) là chiều cao vùng nén được xác định theo công thức:

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} \quad (8)$$

Trong đó: R_s là cường độ cốt thép chịu kéo (kN/m^2); A_s là diện tích cốt thép chịu kéo (m^2).

Thường thì các phá hoại xảy ra cho cột và dầm trên tiết diện thẳng góc trước (chịu nén, chịu uốn) nên không xét tới khả năng phá hoại do lực cắt trên tiết diện.

2.4. Quy trình xây dựng đường cong sập đổ nhà

Kết cấu nhà khung BTCT được coi là bị phá hoại, sập đổ khi dầm hoặc cột của nhà mất khả năng chịu lực. Đường cong sập đổ nhà là biểu đồ thể hiện sự tương quan giữa các giá trị chiều sâu của nước và vận tốc dòng chảy tại những điểm mà dầm hoặc cột khung đạt tới ngưỡng giới hạn chịu lực tối đa.

Quy trình nghiên cứu đơn giản nhằm đánh giá phá hoại của lũ lụt (và các tác động đi kèm) lên kết cấu nhà BTCT, từ đó xây dựng đường cong sập đổ nhà được đề xuất như sau:

- Tiến hành nghiên cứu chi tiết các thông số kỹ thuật điển hình của công trình nhà tại khu vực thường xuyên chịu tác động của lũ lụt, bao gồm: Kích thước dầm cột, khoảng cách bước, nhịp khung, chiều cao tầng và tổng số tầng của công trình. Việc xác định chính xác các thông số này là cơ sở để đánh giá khả năng chịu lực và mức độ an toàn của công trình dưới tác động của các yếu tố lũ lụt.

- Thực hiện tính toán tải trọng tác dụng lên nhà, bao gồm: Khối lượng bản thân của kết cấu và các lớp vật liệu xây dựng, hoạt tải phát sinh từ các yếu tố sử dụng, tải trọng gió, cũng như áp lực thủy tĩnh, thủy động của dòng chảy trong điều kiện lũ lụt.

- Đối với từng giá trị chiều sâu ngập, thực hiện việc tăng dần vận tốc dòng chảy tác dụng lên nhà để xác định tải trọng nước tác động lên kết cấu, kết hợp với các tải trọng khác đã tính toán.

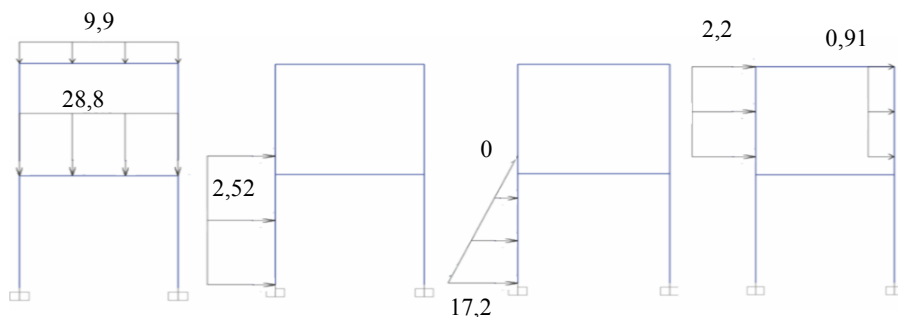
- Tính toán nội lực phát sinh trong các cấu kiện kết cấu như dầm, cột; xác định các vị trí có

nguy cơ phá hoại kết cấu dưới tác động của các mức chiều sâu và vận tốc nước khác nhau.

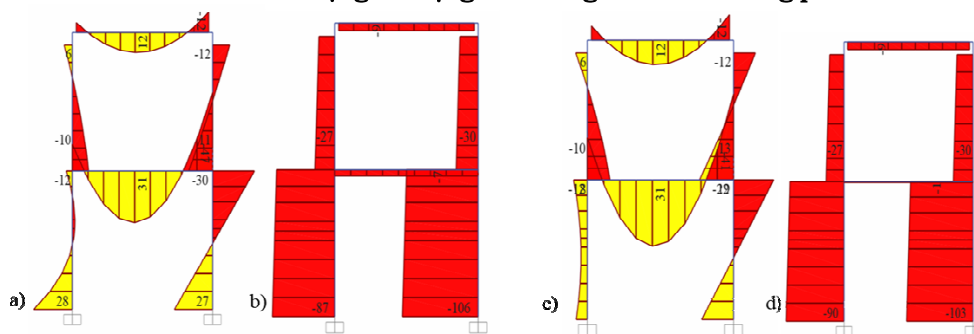
- Sau khi xác định được các biểu đồ nội lực (bao gồm: Mô men uốn và lực dọc) của dầm và cột theo từng mức chiều sâu của mực nước ứng với các giá trị vận tốc khác nhau, tiến hành các bước tính toán thử dần để xác định các giá trị chiều sâu nước tương ứng với mỗi giá trị vận tốc, tại đó khả năng chịu lực của dầm hoặc cột khung đạt đến giới hạn thiết kế cho phép. Tổng hợp các điểm này được đường cong sập đổ theo hai biến chiều sâu ngập và vận tốc dòng chảy tác động lên kết cấu nhà.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Đối tượng nhà BTCT được lựa chọn nghiên cứu là kết cấu khung điển hình của một ngôi nhà dân dụng ở Việt Nam. Nhà bao gồm 5 gian, mỗi gian 4,2 m, chiều ngang nhà 4,2 m, nhà 2 tầng, chiều cao mỗi tầng 3,3 m. Dầm có kích thước (rộng x cao) 22 x 30 cm bố trí lớp trên và dưới 3Φ18, cột có kích thước 22 x 22 cm bố trí 4Φ22 chịu lực. Bê tông mác cấp bền B15 (mác 200#), cốt thép CB300-V.



Hình 4. Sơ đồ tính toán và tải trọng tác dụng lên khung nhà BTCT trong phần mềm ETABS



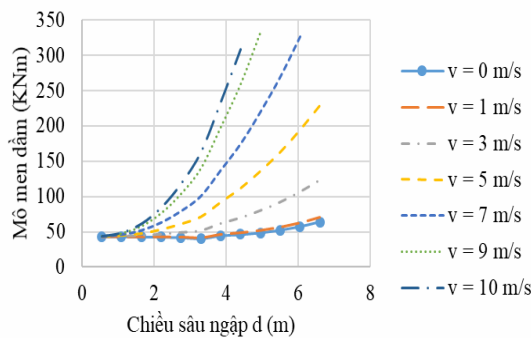
Hình 5. Nội lực (M, N) tổng hợp tác dụng lên khung trong hai trường hợp lũ

a) Mô men tổng hợp do lũ nhanh (kN.m); b) Lực dọc tổng hợp do lũ nhanh (kN); c) Mô men tổng hợp do lũ chậm (kN.m); d) Lực dọc tổng hợp do lũ chậm (kN).

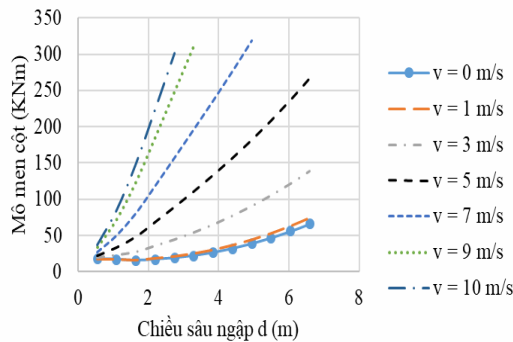
Tổng hợp nội lực cho trường hợp dầm sàn tầng 2, cột bên trái là hai vị trí trên khung có giá trị nội lực lớn để xác định các giá trị nội lực làm phá hoại kết cấu theo chiều sâu ngập nước và vận tốc. Giá trị tổng hợp nội lực lên dầm sàn tầng 2 (mô men phía trên) và cột trái của khung trong trường hợp lũ nhanh và lũ chậm với chiều sâu ngập và một số trường hợp vận tốc điển hình được trình bày ở hình 6, 7, 8, thể hiện mối quan hệ nội lực với chiều sâu và vận tốc dòng chảy ứng với trường hợp lũ nhanh. Hình 9, 10, 11 thể hiện mối quan hệ giữa nội lực với chiều sâu ngập và vận tốc dòng chảy

tương ứng cho trường hợp lũ chậm.

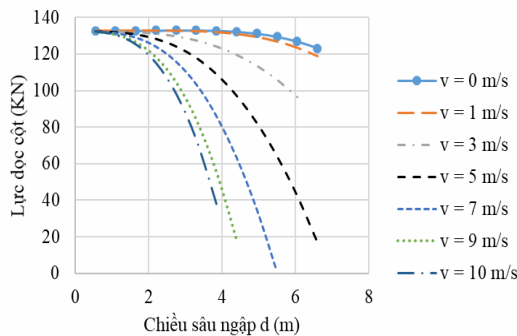
Có thể thấy, các giá trị mô men trong dầm và cột có xu hướng đi lên trong khi lực dọc trong cột có xu hướng giảm xuống. Khi vận tốc nước tăng lên, các giá trị nội lực cũng tăng lên nhanh. Riêng với trường hợp lũ chậm, ở những giá trị vận tốc nước nhỏ (0 và 1 m/s) việc nước dâng lên, giảm tác động của tải trọng gió lên nhà, làm giảm các mô men dầm, cột và tăng lực dọc trong cột, khi đó cần vận tốc nước đủ lớn mới làm tăng các giá trị nội lực này (từ 2 m/s trở lên).



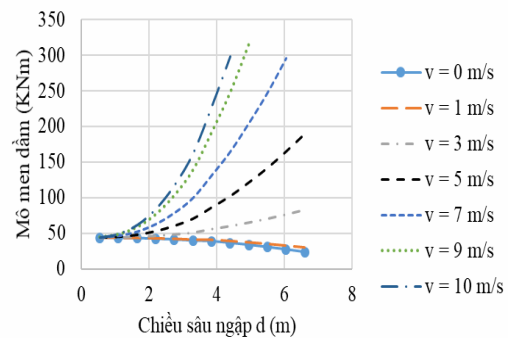
Hình 6. Mô men dầm (lũ nhanh)



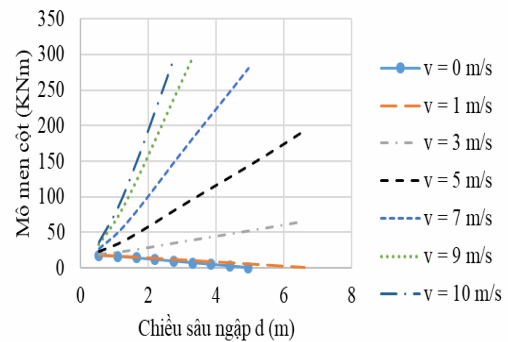
Hình 7. Mô men cột (lũ nhanh)



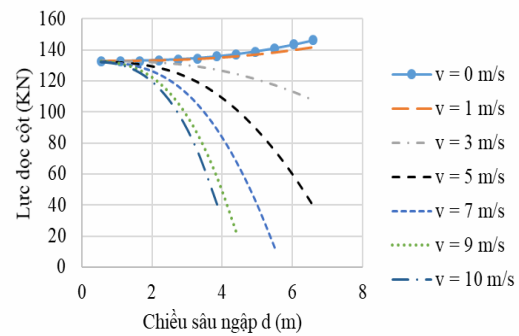
Hình 8. Lực dọc cột (lũ nhanh)



Hình 9. Mô men dầm (lũ chậm)



Hình 10. Mô men cột (lũ chậm)



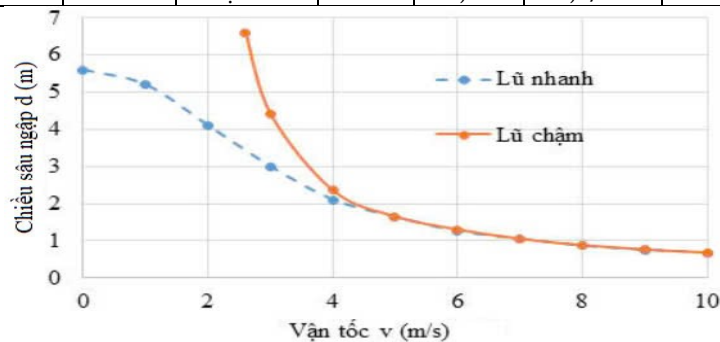
Hình 11. Lực dọc cột (lũ chậm)

3.2. Đường cong sập đổ của kết cấu khung

Sau khi có các kết quả nội lực tổng hợp, tiến hành tính toán thử dần các giá trị nội lực của kết cấu để tìm giới hạn mất an toàn. Đó là trường hợp mô men dầm vượt quá mô men giới hạn của tiết diện ($M_{gh} = 59,9 \text{ kNm}$); mô men và lực dọc của cột lớn hơn giá trị tính toán bên vế phải của công thức (4) và (7). Theo đó, các kết quả xác định đường cong sập đổ của khung nhà được thể hiện ở bảng 2 và hình 12.

Bảng 2. Giá trị chiều sâu ứng với vận tốc nước làm phá hoại kết cấu khung nhà

Lũ nhanh					Lũ chậm				
v (m/s)	d (m)	Nội lực cột (M - kNm/N - kN)	Mô men dầm (kNm)	Ghi chú	v (m/s)	d (m)	Nội lực cột (M - kNm/N - kN)	Mô men dầm (kNm)	Ghi chú
0	5,60	48/129	53	Cột PH					
1	5,20	48/128	54	Cột PH					
2	4,10	48/128	55	Cột PH	2,6	6,60	47/117	68	Cột và dầm PH
3	3,00	48/129	50	Cột PH	3	4,40	48/124	59,8	Cột PH
4	2,10	48,5/131	49	Cột PH	4	2,35	48/128	50	Cột PH
5	1,64	48,5/131	47	Cột PH	5	1,65	48,5/131	47,5	Cột PH
6	1,25	48,5/131	46,5	Cột PH	6	1,30	48,5/131	47	Cột PH
7	1,05	49/132	46	Cột PH	7	1,05	49/132	45,8	Cột PH
8	0,86	48,5/131	45,4	Cột PH	8	0,88	48,5/131	45,7	Cột PH
9	0,75	48,5/131	45	Cột PH	9	0,76	48,5/131	45,6	Cột PH
10	0,67	48,5/131	45	Cột PH	10	0,68	48,5/131	45,4	Cột PH



Hình 12. Quan hệ giữa chiều sâu và vận tốc dòng chảy tới phá hủy kết cấu nhà BTCT

Khi vận tốc dòng chảy $v < 4 \text{ m/s}$, phá hoại của khung BTCT chịu ảnh hưởng lớn bởi chiều sâu ngập; với giá trị vận tốc lớn hơn, ảnh hưởng của chiều sâu ngập giảm dần, tác động phá hoại chủ yếu do áp lực thủy động do ảnh hưởng của vận tốc.

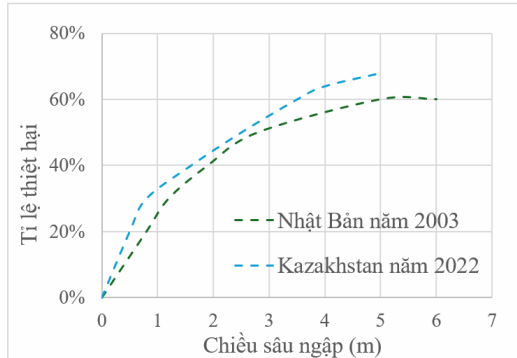
Đường cong sập đổ theo chiều sâu - vận tốc cho thấy chiều sâu ngập đóng vai trò quan trọng

Kết quả tính toán đường cong cho thấy, trường hợp lũ nhanh (tương tự như lũ vỡ đập) khả năng gây ra phá hủy đối với nhà lớn hơn nhiều so với lũ chậm. Ví dụ, với cùng giá trị vận tốc 3 m/s , khung BTCT bị phá hoại với chiều sâu $4,5 \text{ m}$ với lũ chậm và chỉ 3 m với lũ nhanh. Với trường hợp lũ chậm, khung BTCT chỉ bị phá hoại với một giá trị vận tốc đủ lớn. Với kết cấu điển hình nhà đã chọn, vận tốc dòng chảy cần lớn hơn $v = 2,6 \text{ m/s}$

3.3. Thảo luận

So sánh với các đường cong thiệt hại theo chiều sâu ngập lụt nhà BTCT đang được sử dụng

trên thế giới [20], [21] (Hình 13) cho thấy, khi chỉ xét đến chiều sâu ngập lụt, mức độ thiệt hại lớn nhất của nhà BTCT 2 tầng là 60 - 70%. Điều này phù hợp với lũ lụt ven sông. Tuy nhiên, thực tế từ các trường hợp vỡ các đập lớn đã xảy ra trên thế



Hình 13. Đường cong thiệt hại nhà BTCT theo chiều sâu ngập [20], [21]

Việc xây dựng đường cong sập đổ nhà dưới tác động của vận tốc và chiều sâu trong trường hợp lũ nhanh có thể giải thích được qua quan sát thiệt hại nhà và cơ sở hạ tầng do vỡ đập từ thực tế. Đối với trường hợp lũ chậm, khi lưu tốc đủ lớn và kết hợp với mực nước cao có thể dẫn đến sập nhà, tương tự với kết quả nghiên cứu của FEMA (1999) [22]. Điều này cho thấy, sự khác biệt với các đường cong thiệt hại ngập lụt chỉ phụ thuộc vào chiều sâu ngập. Khi tiến hành nghiên cứu này, do thiếu dữ liệu lịch sử nên việc kiểm chứng kết quả khi xét đến vận tốc là một thách thức, tuy nhiên sử dụng mô hình thủy động lực đã được kiểm định và logic về phương pháp luận tính toán dựa trên lý thuyết về kết cấu có thể đảm bảo kết quả với một số giả định và hạn chế; lực tác động vào khung nhà được giả định theo phương vuông góc với kết cấu tường bao, không xét đến sự thay đổi hướng dòng chảy tác dụng lên kết cấu, là tính toán thiên về an toàn; sự phá hủy tiêu chuẩn (được xác định bởi trạng thái giới hạn) không thể hiện được quá trình phá hủy của các tòa nhà và việc tòa nhà bị phá hủy ở một hoặc 2 cột trong nhà BTCT không đại diện cho toàn bộ tòa nhà bị phá hủy ở mức thiệt hại hoàn toàn; đường cong tính toán về mặt lý thuyết có thể không phản ánh đúng bản chất vật lý tại khu vực ngập lụt thông thường trong phạm vi biên trên và biên dưới của đường cong, ví dụ vận tốc rất lớn và chiều sâu nhỏ không xuất hiện trong vùng

giới (Hình 14), các kết cấu hạ tầng tại khu vực hạ lưu đều bị phá hoại. Điều này chứng tỏ, vận tốc dòng chảy lớn có sức phá hoại đối với bất cứ kết cấu nhà nào, trong đó có kết cấu nhà BTCT.



Hình 14. Nhà BTCT bị sập khi vỡ đập Derna, Libya năm 2023 [23]

ngập lụt thông thường, chỉ có trên các dốc nước của các công trình thủy lợi.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã làm rõ cơ chế tác động của chiều sâu và vận tốc dòng chảy lên nhà khung BTCT trong vùng lũ lụt. Cơ sở lý thuyết và quy trình phân tích đã được thiết lập để xây dựng đường cong sập đổ, xem xét đến các yếu tố áp lực thủy tĩnh, thủy động, áp lực gió, khối lượng bản thân và hoạt tải sử dụng. Kết quả cho thấy, khả năng bị sập của nhà khung BTCT 2 tầng có sự khác biệt khi đối mặt với lũ nhanh và lũ chậm, điều này nhấn mạnh sự cần thiết của việc phân biệt hai trường hợp lũ khi tính toán tác động đến nhà trong vùng ngập lụt.

Để hoàn thiện nghiên cứu về thiệt hại của nhà, cần phát triển đường cong sập đổ cho các loại kết cấu khác như nhà BTCT một tầng, nhà gạch và nhà gỗ, nhằm xây dựng một tập hợp các loại nhà toàn diện cho vùng ngập lụt. Kết quả nghiên cứu được áp dụng để ước tính và đánh giá thiệt hại của nhà khung BTCT trong vùng ngập lụt có dòng chảy vận tốc cao, đặc biệt là ở hạ du hồ chứa vừa và lớn khi xảy ra các sự cố vỡ đập.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. J. Huizinga, H. De Moel and W. Szewczyk (2017). *Global flood depth-damage functions: Methodology and the database with guidelines*.

Technical report JRC105688.

2. M. Tariq, O. Hoes and N. Van de Giesen (2014). Development of a risk – based framework to integrate flood insurance. *Journal of Flood Risk Management*, vol. 127, no. 4. doi: 10.1111/jfr3.12056.

3. M. Kefi, B. K. Mishra, Y. Masago and K. Fukushi (2020). Analysis of flood damage and influencing factors in urban catchments: case studies in Manila, Philippines and Jakarta, Indonesia. *Nat Hazards*, vol. 14, no. 3, pp. 2461 - 2487. doi: 10.1007/s11069-020-04281-5.

4. T. Maqsood, M. Wehner, H. Ryu, E. M., K. Dale and V. Miller (2013). *GAR15 Regional Vulnerability Functions: Reporting on the UNISDR/GA SE Asian Regional Workshop on Structural Vulnerability Models for the GAR Global Risk Assessment*. Geosci. Aust. Canberra Aust. doi: Record.2014.038.

5. B. Merz, H. Kreibich, A. Thielen and R. Schmidtke (2004). Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 24, pp. 153 - 163. doi: 10.5194/nhess-4-153-2004.

6. A. H. Thielen, M. Müller, H. Kreibich and B. Merz (2005). *Flood damage and influencing factors: New insights from the August 2002 flood in Germany*. Water Resources Research, vol. 41. doi: 10.1029/2005WR004177.

7. B. Merz, H. Kreibich and A. Thielen (2010). *Flood Risk Management: Research and Practice*. Flood risk assessment in Germany: concepts and methods.

8. Humberto A. Gallegos, Jochen E. Schubert, and Brett F. Sanders (2012). *Structural Damage Prediction in a High - Velocity Urban Dam - Break Flood: Field - Scale Assessment of Predictive Skill*. American Society of Civil Engineers. doi: 10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0000427.

9. L. K. Clausen (1989). *Potential Dam Failure: Estimation of Consequences, and Implications for Planning*. Master's Thesis, Middlesex University, London, UK.

10. A. Pistrika, G. Tsakiris and I. Nalbantis (2014). *Flood Depth - Damage Functions for Built*

Environment. Environmental Processes, vol. 21, pp. 553 - 572. doi: 10.1007/s40710-014-0038-2.

11. S. Thapa, A. Shrestha, S. Lamichhane, R. Adhikari and D. Gautam (2020). Catchment-scale flood hazard mapping and flood vulnerability analysis of residential buildings: The case of Khando river in Eastern Nepal. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Volume 30, 100704. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100704>.

12. A. Pistrika and S. N. Jonkman (2010). Damage to residential buildings due to flooding of New Orleans after Hurricane Katrina. *Nat Hazards*, vol. 54, pp. 413 - 434, doi: 10.1007/s11069-009-9476-y.

13. Norberto C. Nadal, Raúl E. Zapata, Ismael Pagán, Ricardo López and Jairo Agudelo. (2010). Building Damage due to Riverine and Coastal Floods. *Journal of Water Resources Planning and Management asce*. pp. 327 - 336. doi: 10.1061/ASCEWR.1943-5452.0000036.

14. I. W. Roos and T. Bouw (2003). *Damage to buildings*. Report. Delft Clust.

15. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 2737:2023. Tải trọng và tác động.

16. Ngô Thế Phong (chủ biên) (1998). *Kết cấu bê tông cốt thép - phần kết cấu nhà cửa*. Nxb Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.

17. Lê Bá Huệ (chủ biên) (2023). *Khung bê tông cốt thép toàn khối*. Nxb Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.

18. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 5574:2018. Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép.

19. CSI. (2002). *ETABS_Integrated_Building_Design_Software*.

20. D. Dutta, S. Herath and K. Musiake. (2003). A mathematical model for flood loss estimation. *Journal of Hydrology*, vol. 277, pp. 24 - 49. doi: 10.1016/S0022-1694(03)00084-2.

21. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (2022). *Regionally consistent risk assessment for earthquakes and floods and selective landslide scenario analysis for strengthening financial resilience and accelerating risk reduction in Central Asia (SFRARR Central*

Asia disaster risk assessment).

22. Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1999). Direct physical damage general building stock. HAZUS99 Technical Manual, Chapter 5.

23. Nabih Bulos (2023). *Horrific dam collapses*

epitomize Libya's failures. Why were so many warnings ignored? Los Angeles Times Newspaper. <https://www.latimes.com/world-nation/story/2023-09-19/libya-flood-dams-collapse-why-warnings-ignored>.

RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF COLLAPSE CURVES FOR REINFORCED CONCRETE FRAME BUILDING UNDER THE INFLUENCE OF WATER DEPTH AND FLOW VELOCITY IN FLOOD-PRONE AREAS OF VIETNAM

Luong Thi Thanh Huong¹, Doan Xuan Quy¹, Nguyen Canh Thai¹

¹Thuyloi University

*Email: thanhhuong@tlu.edu.vn

Summary

This study develops a collapse curve model for reinforced concrete frame buildings based on water depth and flow velocity to determine their resilience to flood impacts. The research establishes a theoretical foundation and analytical process for developing the collapse curve by Vietnamese building standards, considering hydrostatic and hydrodynamic pressures, wind loads and the self - weight of the structure. The results reveal significant differences in the collapse potential of two - story reinforced concrete frame buildings in cases of rapid flood rise (i.e., dam failures) and slow flood rise (like river floods). This study contributes to the scientific basis for developing collapse curves in Vietnam, enabling broader estimates of flood damage and risk for buildings, thus enhancing disaster response capabilities and community protection.

Keywords: *Flood, collapsing curve, flow velocity, reinforced concrete frame building, water depth.*

Ngày nhận bài: 6/9/2024

Ngày gửi phản biện: 30/9/2024

Ngày thông qua phản biện: 9/10/2024

Ngày duyệt đăng: 14/10/2024