

TÍNH TOÁN CHỊU LỰC CHO GIẢI PHÁP KHOAN VÀ NEO CÂY BU LONG VÀO BÊ TÔNG THEO TIÊU CHUẨN CHÂU ÂU

Vũ Ngọc Tâm^a, Hoàng Khánh Sơn^a, Amol Singh^a, Nguyễn Trường Thắng^{b,*}

^aCông ty TNHH Hilti Việt Nam, Tầng 7 Tòa nhà Ford Thăng Long, 105 Láng Hạ, Hà Nội, Việt Nam

^bKhoa Xây dựng dân dụng và công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng,
số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 14/08/2019, Sửa xong 10/09/2019, Chấp nhận đăng 10/09/2019

Tóm tắt

Khoan và neo cây bu long vào bê tông để liên kết các vật thể kiến trúc, bộ phận kết cấu và thiết bị cơ điện với kết cấu chịu lực chính của công trình là một giải pháp thường gặp trên thực tế. Hiện nay ở Việt Nam chưa có tiêu chuẩn chính thức và quy trình công nghệ trong khi còn có ít thông tin của các nước tiên tiến trên thế giới cho việc tính toán loại liên kết này. Bài báo này tổng hợp và giới thiệu hệ thống tiêu chuẩn châu Âu gồm tiêu chuẩn thiết kế, tiêu chuẩn về kiểm định sản phẩm, chứng chỉ sản phẩm, nguyên lý tính toán dựa trên các dạng phá hoại cần phải tránh được quy định trong tiêu chuẩn và một số ví dụ thực tế để minh họa cho quy trình thiết kế hệ thống liên kết khoan neo cây. Kết quả cho thấy cùng với cường độ của từng bu long, sự toàn vẹn của bê tông dưới tác động của cả cụm bu long cũng là một yếu tố quan trọng khi kiểm tra khả năng chịu lực của cả hệ thống khoan cấy. Bên cạnh đó, chiều sâu neo bu long vào bê tông cũng cần được tính toán sao cho vừa đảm bảo an toàn chịu lực, vừa hợp lý về kinh tế mà không nên chọn cố định theo một thông số kinh nghiệm.

Từ khoá: chịu lực; khoan cấy; bu long; bê tông; tiêu chuẩn châu Âu.

LOAD BEARING CALCULATION FOR POST-INSTALLED ANCHOR SOLUTION OF BOLTS INTO CONCRETE TO THE EUROCODES

Abstract

Post-installed anchor of bolts into concrete is a sufficient load bearing solution in practice to connect architectural objects, sub-structures and MEP equipments to main building structures. So far, there have been limited official design standard and specification as well as information of modern international ones for this solution in Vietnam. This article summarizes and introduces the Eurocodes system including design standard, product specification, product certificates, calculation principles based on failure criterion specified in the code, and a number of case studies to illustrate the design procedure for this combined system. It is shown that together with each bolt's strength, the concrete integrity under the actions of the whole group of bolts also plays an important role in the load bearing capacity of the connection. Besides, the anchorage length into concrete of the bolts shall be determined based on both safety and economical requirements instead of using an experiential parameter.

Keywords: load bearing; post-installed anchor; bolt; concrete; Eurocodes.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(4V\)-10](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(4V)-10) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Hiện nay có hai giải pháp chính để liên kết các vật thể kiến trúc (các biển báo, tay vịn lan can, mặt dựng nhôm kính của nhà cao tầng...), các hệ kết cấu (cầu kiện dầm, dàn thép, mái che khu vực

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: thangnt2@nuce.edu.vn (Thắng, N. T.)

sánh...), đặt và treo thiết bị cơ điện (thang tời, thang máy, máng cáp...) vào kết cấu bê tông chịu lực của công trình. Giải pháp thứ nhất là đặt chờ bu long neo sẵn trước khi đổ bê tông. Phương án này phụ thuộc nhiều vào điều kiện hiện trường cũng như trình độ thi công và thường dẫn tới sai sót phải chỉnh sửa trên công trường do bu long không được định vị và gá lắp một cách chính xác. Giải pháp thứ hai là khoan và neo cấy bu long (gọi tắt là khoan cấy) sau khi bê tông đã đông cứng nên có thể khắc phục nhược điểm nêu trên một cách hiệu quả. Đây là một quy trình công nghệ đã được phát triển lâu năm tại một số nước tiên tiến trên thế giới và đang được áp dụng ngày càng rộng rãi ở Việt Nam.

Do các hạng mục kiến trúc, kết cấu và cơ điện được liên kết đều có trọng lượng lớn và chịu tác động thường xuyên của môi trường trong suốt vòng đời của công trình, nên việc thiết kế đảm bảo an toàn chịu lực cho liên kết khoan cấy bu long vào bê tông là hết sức cần thiết. Trên thực tế hiện nay, ở Việt Nam thường áp dụng một quy trình đơn giản, đó là: (i) Tính toán lực tác dụng lên từng bu long; (ii) Tra cứu catalogue và sổ tay của các nhà sản xuất để lựa chọn bu long và loại keo; và (iii) Kiểm chứng thiết kế bằng thí nghiệm kéo thử tải trực tiếp hiện trường để xác nhận giá trị chịu lực giới hạn của từng bu long. Như vậy, một số yếu tố quan trọng như các điều kiện hình học, tải trọng và các điều kiện đặc biệt khi làm việc dài hạn đã có thể không được kể tới. Trong một số trường hợp, do các tiêu chuẩn quốc gia hiện hành về thiết kế bê tông cốt thép TCVN 5774:2018 [1] và thiết kế hệ thống kết cấu thép TCVN 5575:2012 [2] chưa đề cập đến thiết kế và tính toán cho trường hợp neo bu long bằng khoan cấy sau, nên chiều sâu neo cho bu long được lựa chọn cố định theo một giá trị kinh nghiệm, có thể dẫn tới những rủi ro hoặc không an toàn chịu lực, hoặc không hợp lý về kinh tế và điều kiện thi công.

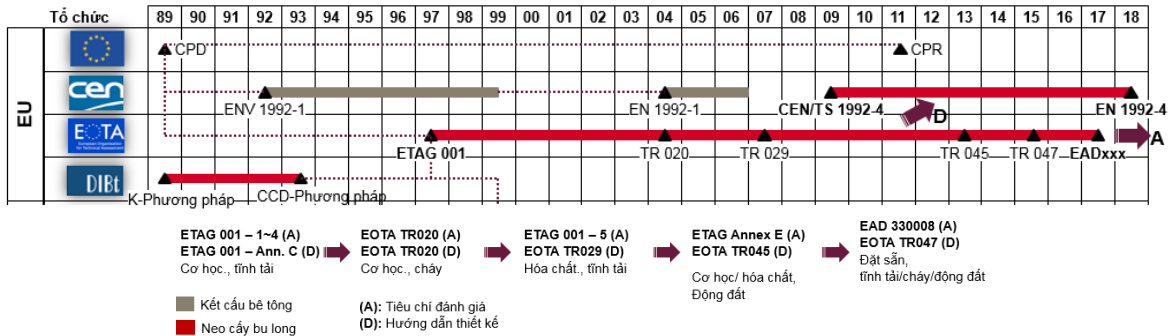
Hiện nay, tại Việt Nam đã có một số giải pháp liên kết khoan cấy của các nước tiên tiến trên thế giới (như châu Âu và Hoa Kỳ), đi kèm với một hệ thống thiết kế đầy đủ theo các tiêu chuẩn quốc tế. Tuy nhiên, những tiêu chuẩn này cần được hiểu và áp dụng một cách đúng đắn. Bài báo này giới thiệu hệ thống tiêu chuẩn đầy đủ cho việc thiết kế các sản phẩm khoan cấy theo tiêu chuẩn mới nhất của châu Âu EN 1992-4 [3–5] và thông qua một số ví dụ thực tế để giới thiệu một số trường hợp phá hoại cần được dự báo nhằm làm rõ hệ thống cấu trúc và nguyên lý tính toán thiết kế của tiêu chuẩn châu Âu. Việc phân tích một hệ thống tiêu chuẩn hoàn chỉnh và được sử dụng rộng rãi như tiêu chuẩn thiết kế của châu Âu có thể được tham khảo cho công tác soạn thảo tiêu chuẩn thiết kế tương ứng của Việt Nam phù hợp với hệ thống tiêu chuẩn quốc tế.

2. Hệ thống tiêu chuẩn châu Âu cho liên kết khoan neo cấy

2.1. Các tiêu chuẩn thiết kế, chứng chỉ và tài liệu đánh giá chỉ tiêu kỹ thuật

Tại châu Âu, tiêu chuẩn thiết kế khoan cấy bu long đã được xây dựng trong 30 năm và phát triển cùng với một hệ thống tiêu chuẩn chung và thống nhất, từ một bản hướng dẫn địa phương trở thành tiêu chuẩn bắt buộc cho các quốc gia trong Liên minh châu Âu. Năm 1989, tài liệu CPD (Construction Products Directive) [6] thiết đặt bộ khung cho hệ thống quy định về sản phẩm xây dựng tại liên minh châu Âu. Năm 2011, tài liệu này được thay thế bởi định chế sản phẩm xây dựng CPR (Construction Products Regulation) [7] (Hình 1).

Năm 2018, tiêu chuẩn cho khoan cấy bu long vào bê tông nằm trong phần 4 của EC2 [3–5] được hoàn thiện, đánh dấu một sự thay đổi quan trọng. Trước đó, tất cả các tài liệu hướng dẫn thiết kế và kiểm định khoan cấy đều do Tổ chức kiểm định kỹ thuật của châu Âu (EOTA) xuất bản và chỉ được coi là các tài liệu mang tính định hướng, hướng dẫn chứ không có tính chất bắt buộc áp dụng trong các nước thành viên như tiêu chuẩn EC2. Bộ tiêu chuẩn EC2-4 được chia thành năm phần: Phần 1 đề cập các yêu cầu chung cho các loại thiết kế neo cấy trong bê tông; Phần 2 và 3 đề cập đến thiết kế của



Hình 1. Lịch sử phát triển chung của tiêu chuẩn châu Âu [8]

các loại bu long được đặt chờ và Phần 4 và 5 đưa ra hướng dẫn thiết kế cho các loại bu long cơ học và bu long hóa chất khoan cấy sau [4, 5]. Cùng với đó, các tài liệu về phương pháp thiết kế, chứng chỉ thể hiện đặc tính kỹ thuật của vật liệu và tài liệu hướng dẫn các chỉ tiêu đánh giá được tổ chức thành một hệ thống thống nhất bao gồm: (i) EAD (European Assessment Document): cung cấp các tiêu chí cần phải đánh giá của vật liệu thiết kế và đưa ra phương pháp kiểm định các sản phẩm của các nhà sản xuất khác nhau theo một thước đo chung; (ii) ETA (European Technical Assessment): cung cấp các thông tin số liệu về đặc tính sản phẩm có được từ phương pháp thí nghiệm của EDA; và (iii) EN 1992-4 (EC2-4) [3–5]: cung cấp phương pháp thiết kế cho khoan cấy truyền lực từ thép sang bê tông. Khi hệ thống tài liệu cơ sở trong tính toán thiết kế được chuyển đổi sang hệ thống mới phù hợp với sự áp dụng của EN 1992-4 [3–5], các sản phẩm khoan cấy chịu lực theo hệ thống cũ với chứng chỉ ETA sẽ được đánh giá và kiểm định lại theo hệ thống EAD. Tài liệu ETA mới sẽ được thay thế cho tất cả các loại vật liệu [9, 10]. Có thể nói tiêu chuẩn châu Âu là một hệ thống hoàn chỉnh, cung cấp một cách thống nhất các thông số kỹ thuật trong việc tính toán thiết kế liên kết khoan neo cấy.

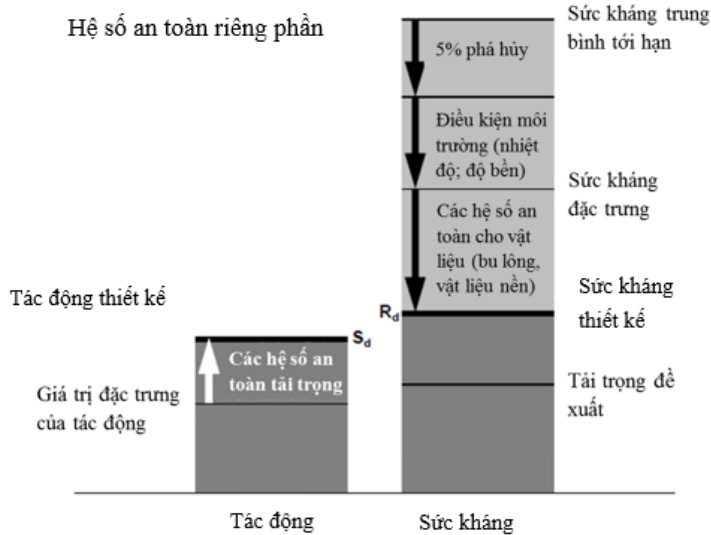
2.2. Nguyên lý thiết kế

Thống nhất chung với toàn bộ hệ thống EC2, tiêu chuẩn EC2-4 kiểm tra các trạng thái giới hạn về bền và về sử dụng với nguyên tắc không chế tác động không vượt quá sức kháng, đồng thời sử dụng nguyên lý tính toán xét đến “hệ số an toàn riêng phần”. Đối với tải trọng và tác động, các giá trị thiết kế đều được tính toán từ giá trị đặc trưng để đảm bảo xác suất 95% phù hợp với điều kiện kinh tế - kỹ thuật (Hình 2). Giá trị của các hệ số an toàn riêng phần được quy định theo Phụ lục của từng quốc gia sử dụng hệ thống tiêu chuẩn châu Âu và trong tài liệu ETA của từng loại vật liệu sử dụng.

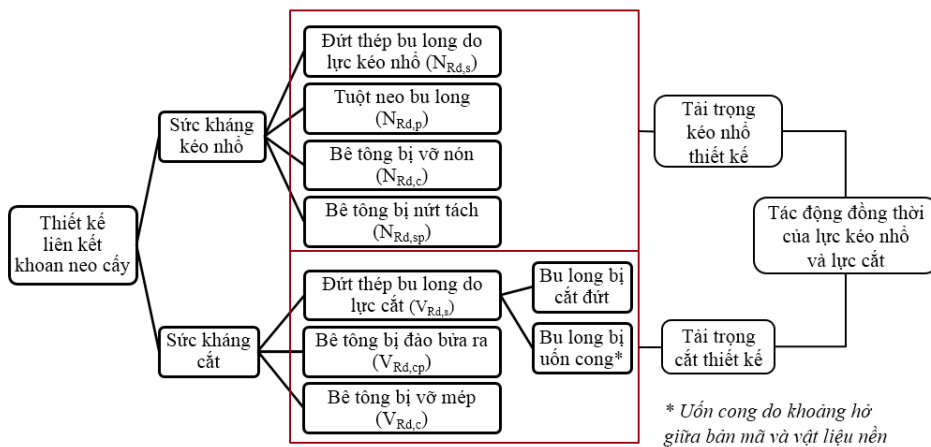
Lý thuyết và công thức tính toán của EC2-4 được phát triển dựa trên nguyên tắc tránh xảy ra tất cả các dạng phá hoại đối với hệ thống liên kết. Phần 4 và 5 của EC2-4 đưa ra những hướng dẫn chi tiết thiết kế cho hệ thống liên kết khoan cấy của bu long cơ học và bu long hóa chất. Trong tính toán thiết kế, sức kháng nhổ và cắt được tính toán dựa trên những giả thiết của trường hợp phá hoại của hệ thống liên kết (Hình 3).

Hình 3 cho thấy sức kháng nhổ và sức kháng cắt của liên kết được tính toán theo các trường hợp phá hoại vật liệu thép bu long, do tuột neo và do phá hoại bê tông. Khi xét đến sự phá hoại của vật liệu thép bu long và tuột neo, giá trị nguy hiểm nhất của một bu long được xem là khả năng chịu lực của cả hệ thống. Tuy nhiên, hệ thống cũng có thể bị phá hoại do bê tông khi chịu kéo nhổ (Hình 4(a) và 4(b)) và chịu cắt (Hình 5(a) và 5(b)).

Hình 4(a) cho thấy về nguyên tắc, góc truyền lực trong bê tông sẽ tạo nên một mặt phá hoại hình côn với bán kính mở rộng theo tâm bu long hoặc cụm bu long khi bị vỡ nón. Tuy nhiên, để đơn giản



Hình 2. Nguyên lý tính toán xét đến “hệ số an toàn riêng phần” [11]



Hình 3. Các điều kiện tính toán thiết kế liên kết khoan cấy

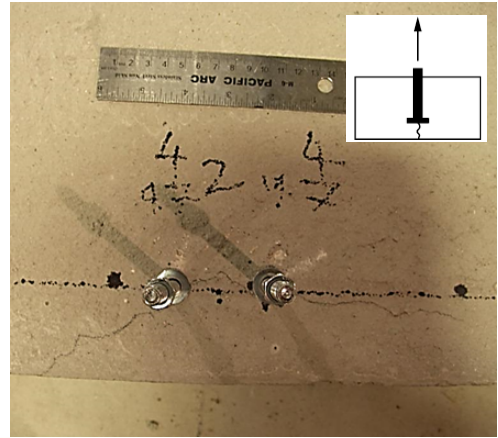
trong thực hành tính toán, EC2-4 thừa nhận sử dụng diện tích làm việc hình vuông và xét tới sự làm việc đồng thời của cả cụm bu lông thông qua hệ số diện tích gây ra bởi vùng ảnh hưởng chồng lấn của bu lông. Đối với các yếu tố phụ về sự nhiễu loạn ứng suất, gia cường cốt thép và sự phân bố lệch tâm cũng được xét đến nhưng có tác động không lớn đến kết quả tính toán. Khi vị trí bu lông được khoan cấy ở vùng bê tông gần mép, do sự phân bố không đều và làm việc không đồng nhất của bê tông nên gây ra sự nhiễu loạn và tập trung ứng suất cục bộ tại bề mặt sát mép, gây ra trường hợp phá hoại nứt tách tại mép của hệ liên kết (Hình 4(b)).

Trường hợp phá hoại do bê tông bị đào bừa ra (Hình 5(a)) có liên quan tới phá hoại hình nón do cùng bị hạn chế bởi khả năng làm việc chịu kéo của bê tông và thường xảy ra khi bu lông được neo cấy quá nông trên vật liệu nền. Hình 5(b) cho thấy phá hoại bê tông do vỡ mép thường xảy ra do giới hạn hình học của cấu kiện bê tông và do lực cắt lớn tác dụng trực tiếp lên cả cụm bu lông theo hướng vuông góc hoặc song song với mép của cấu kiện bê tông tiếp nhận liên kết.

Đối với những cơ chế phá hoại từ bê tông kể trên, sự ảnh hưởng của cả nhóm bu lông khi truyền

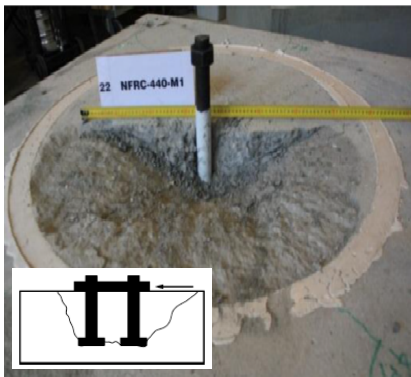


(a) Bê tông bị vỡ nén

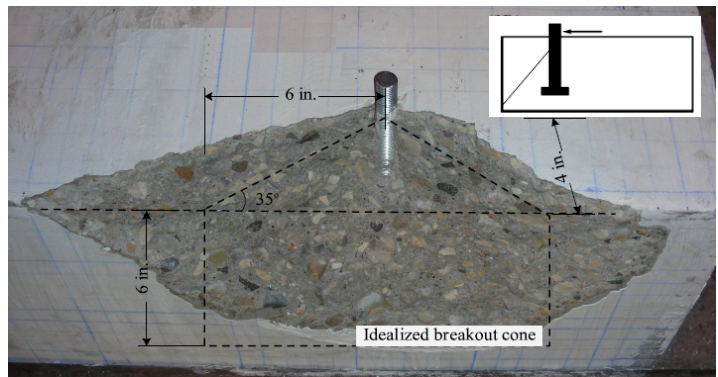


(b) Bê tông bị nứt tách

Hình 4. Phá hoại bê tông khi chịu kéo nhỏ [3–5]



(a) Bê tông bị đào bừa ra



(b) Bê tông bị vỡ mép

Hình 5. Phá hoại bê tông khi chịu lực cắt [3–5]

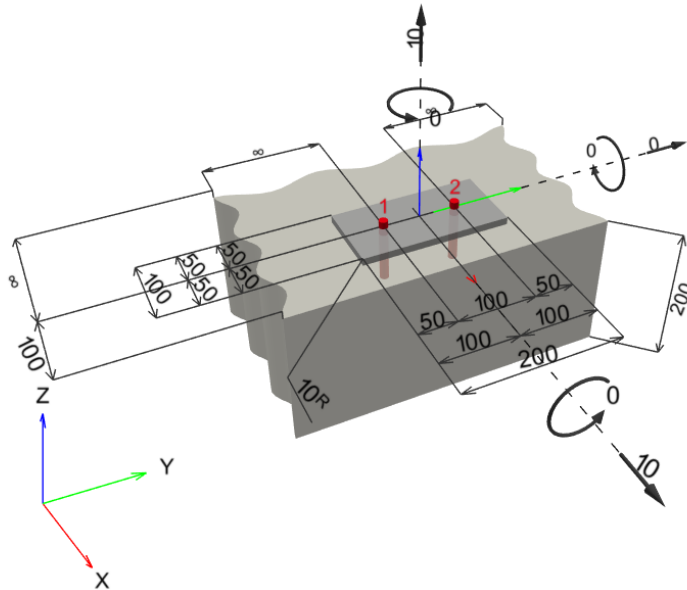
lực vào hệ bê tông sẽ quyết định chủ yếu đến đặc tính truyền lực. Khi đó, giá trị sức kháng và tải trọng kiểm tra không phải là cho một bu long nguy hiểm nhất mà là giá trị cho một cụm các bu long cùng làm việc. Đây là một chú ý quan trọng để đánh giá đúng đặc tính làm việc của một hệ thống khoan cấy, thường chưa được xem xét đúng trong thực hành.

Một hệ thống liên kết khoan cấy được thiết kế với các thông tin về chủng loại bu long, vị trí của chúng trong liên kết và chiều sâu neo của bu long vào bê tông. Từ những giá trị của thông số hình học và vật liệu, sức kháng thiết kế của hệ thống được tính toán theo các trường hợp phá hoại do lực kéo và lực cắt. Sau khi xác định được sức kháng và tải trọng của các trường hợp phá hủy, các giá trị này sẽ được so sánh với nhau để kiểm tra xem khả năng làm việc của cả hệ thống. Khi tất cả các điều kiện kéo, cắt và tổ hợp đều được thỏa mãn, hệ thống được xem là an toàn. Nếu không thỏa mãn một trong các điều kiện trên, cần phải thay đổi lại thiết kế bu long để kiểm tra khả năng làm việc. Quy trình tính toán nói trên được minh họa thông qua các ví dụ thực tế trình bày trong các mục sau.

3. Ví dụ tính toán số 1

3.1. Số liệu đầu vào

Xét một ví dụ đơn giản tính toán liên kết khoan cấy giữa khung mặt dựng nhôm kính của nhà cao tầng với bản sàn bê tông dày $h = 200$ mm. Bê tông có cấp cường độ C30/37, không xét đến tác động gia cường của cốt thép bên trong. Bản mã thép chữ nhật có kích thước 100×200 mm, dày 10 mm được liên kết vào bê tông qua hai bu long đường kính 12 mm với khoảng cách giữa chúng là $s = 100$ mm và khoảng cách từ mỗi bu long đến mép bản sàn bê tông là $c = 100$ mm (Hình 6).



Hình 6. Ví dụ số 1 - Sơ đồ liên kết

Kiểm tra khả năng chịu lực của hệ thống dưới tác động đồng thời của các tải trọng tính toán do kéo nhổ là $N_{Ed} = 10$ kN và do cắt là $V_{Ed} = 10$ kN. Chỉ dẫn kỹ thuật được đưa ra cho phương án khoan cấy là sử dụng bu long loại Hilti HST3 M12 với chiều sâu neo hiệu dụng $h_{ef} = 70,0$ mm (khoảng 5,8 lần đường kính bu long). Thi công sử dụng khoan búa trong điều kiện khô. Thông số của sản phẩm sử dụng bu long được tham khảo từ tài liệu ETA-98/0001 [12].

3.2. Kiểm tra điều kiện hình học của liên kết

Đối với các loại bu long được sử dụng trong thiết kế, nhằm đảm bảo yêu cầu không bị phá hoại bê tông trong điều kiện lắp đặt, tài liệu ETA quy định về các điều kiện hình học bao gồm: khoảng cách tối thiểu giữa các bu long ($s \geq s_{min} = 50$ mm); khoảng cách tối thiểu giữa mỗi bu long và mép bê tông ($c \geq c_{min} = 55$ mm); và bề dày tối thiểu của bê tông được khoan cấy ($h \geq h_{min} = 140$ mm). Như vậy các thông số hình học đều đạt yêu cầu. Nếu các thông số này không đảm bảo, bắt buộc phải điều chỉnh thiết kế trước khi có thể kiểm tra tiếp về khả năng chịu lực.

3.3. Kiểm tra điều kiện chịu lực - với tác động kéo nhổ

Theo hướng dẫn của EC2-4-4, đối với bu long HST3 là loại bu long cơ học, khi bị tác động kéo nhổ cần tránh xảy ra bốn dạng phá hoại sau: (i) Phá hoại vật liệu thép của bu long; (ii) Phá hoại tuột

neo của bu long; (iii) Phá hoại bê tông bị võ hình nón; và (iv) Phá hoại bê tông bị nứt tách. Đối với hai trường hợp phá hoại đầu tiên, cần kiểm tra giá trị riêng của bu long chịu lực lớn nhất. Đối với hai trường hợp sau, cần kiểm tra sự làm việc đồng thời của các bu long khi cùng chịu lực nhờ trong hệ thống.

a. Theo điều kiện không phá hoại vật liệu thép của bu long

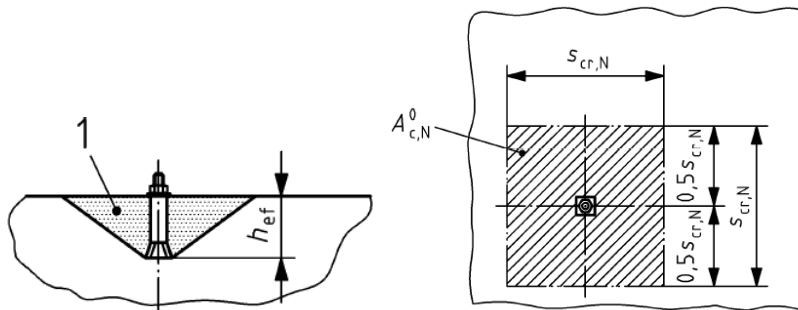
Điều kiện kiểm tra là tải trọng thiết kế lớn nhất tác dụng lên mỗi bu long phải nhỏ hơn sức kháng của bu long đó: $N_{Ed}^h \leq N_{Rd,s} = N_{Rk,s}/\gamma_{Ms,s}$ trong đó $N_{Rk,s} = 45,1$ kN và $\gamma_{Ms,s} = 1,4$ được lấy theo ETA. Việc tính giá trị này theo cường độ thép và tiết diện thân ren sẽ không đúng do cấu tạo riêng biệt của từng loại bu long. Như vậy $N_{Ed}^h = 5$ kN $\leq N_{Rd,s} = 32,2$ kN: thỏa mãn điều kiện không bị phá hoại vật liệu bu long.

b. Theo điều kiện không bị tuột neo của bu long

Điều kiện kiểm tra được tiến hành cho trường hợp một bu long chịu tải lớn nhất: $N_{Ed}^h \leq N_{Rd,p} = N_{Rk,p}/\gamma_{Mp}$. Tuy nhiên giá trị sức kháng $N_{Rk,p}$ phụ thuộc vào loại bê tông sử dụng và được tính toán nhân với hệ số của điều kiện làm việc của bê tông. Giá trị $N_{Rk,p}$ trong ETA cung cấp cho loại bê tông cấp cường độ C20/25, giá trị tính toán cho bê tông C30/37 được nhân với hệ số $\psi_c = 1,22$. Hệ số an toàn $\gamma_{M,p} = \gamma_c \cdot \gamma_{inst} = 1,5 \times 1,0 = 1,5$, γ_{inst} là hệ số an toàn khi lắp đặt. Như vậy $N_{Ed}^h = 5$ kN $\leq N_{Rd,p} = 16,27$ kN - Thỏa mãn điều kiện bu long không bị tuột.

c. Theo điều kiện không bị phá hoại do võ bê tông theo hình nón

Sự phá hoại bê tông theo hình nón gây bởi cả cụm bu long cần được kiểm tra theo biểu thức $N_{Ed} \leq N_{Rk,c}/\gamma_c$, trong đó $N_{Rk,c}$ là khả năng chịu kéo của khu vực bê tông bị khoan cấy $N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^o \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^o} \psi_{s,N} \psi_{re,N} \psi_{ec,N}$; với $N_{Rk,c}^o = k_1 \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1,5} = 24,70$ kN là giá trị thể hiện sức chịu kéo của bê tông; $A_{c,N}/A_{c,N}^o$ là hệ số về mức độ chồng lấn của cụm bu long, với $A_{c,N} = 63550$ mm² và $A_{c,N}^o = 44100$ mm² lần lượt là hình chiếu của cả cụm bu long và hình chiếu của một bu long lên bề mặt bê tông (Hình 7).



Hình 7. Kiểm tra phá hoại bê tông theo hình nón hình ảnh EC2-4-4 [4]

Để đơn giản tính toán, tiêu chuẩn sử dụng hình chiếu là hình vuông với chiều dài cạnh là $s_{cr,N}$ được lấy giá trị trong ETA tùy thuộc loại bu long; các hệ số $\psi_{s,N} = 0,986$ xét tới hiệu ứng do sự nhiễu loạn ứng suất gần mép; $\psi_{re,N} = 1,0$ xét tới tác dụng của sự gia cường cốt thép trong bê tông; và $\psi_{ec,N} = 1,0$ xét tới hiệu ứng của sự phân bố lệch tâm của tải trọng. Đối với hệ thống mới EAD, cường độ đặc trưng f_{ck} của bê tông được lấy theo giá trị của mẫu trụ. Như vậy $N_{Ed}^h = 10$ kN $\leq N_{Rk,c}/\gamma_c = 23,39$ kN - Thỏa mãn điều kiện bê tông không bị phá hoại theo hình nón.

d. Theo điều kiện bê tông không bị phá hoại nứt tách

Khi khoảng cách từ bu long tới mép bê tông $c = 100 \text{ mm} < 1,2 c_{cr,sp} = 126 \text{ mm}$, cơ chế phá hoại nứt bê tông dưới tác động của cả cụm bu long cần được kiểm tra theo điều kiện: $N_{Ed} \leq N_{Rk,sp}/\gamma_{sp}$, trong đó $N_{Rk,sp}$ là khả năng chịu lực của khu vực bê tông bị khoan cấy $N_{Rk,sp} = N_{Rk}^o \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^o} \psi_{s,N} \psi_{re,N} \psi_{ec,N} \psi_{h,sp}$; với các hệ số $\psi_{s,N}$, $\psi_{re,N}$ và $\psi_{sc,N}$ lấy như mục 3.4.c; hệ số $\psi_{h,sp}$ xét đến ảnh hưởng của bề dày lớp bê tông và được lấy là 1,0 khi $h = 200 \text{ mm}$; $N_{Rk}^o = \min(N_{Rk,p}, N_{Rk,c}^o) = \min(24,4; 24,7) = 24,4 \text{ kN}$. Như vậy $N_{Ed}^h = 10 \text{ kN} \leq N_{Rk,sp}/\gamma_{sp} = 23,11 \text{ kN}$ - Thỏa mãn điều kiện bê tông không bị phá hoại nứt tách.

3.4. Kiểm tra điều kiện chịu lực - với tác động của lực cắt

Khi hệ thống khoan cấy chịu tác động của lực cắt, cần kiểm tra để tránh bị phá hoại theo ba dạng sau: (i) Phá hoại vật liệu thép của bu long (do bị cắt đứt hoặc uốn cong); (ii) Phá hoại do bê tông bị đào bửa ra; và (iii) Phá hoại bê tông bị vỡ mép.

a. Theo điều kiện không phá hoại vật liệu thép của bu long

Khi bản mã nằm áp sát vào về mặt bê tông và thỏa mãn các điều kiện về lớp vữa đổ bù nếu có, không cần phải kiểm tra sự uốn cong do mômen gây ra bởi lực cắt tại từng bu long. Do vậy trong ví dụ này chỉ cần kiểm tra để tránh sự phá hoại của bu long do sự cắt đứt của vật liệu thép tại vị trí liên kết.

Với giá trị sức kháng đặc trưng và hệ số an toàn thép chịu cắt lấy theo tài liệu ETA [12] lần lượt là $V_{Rk,s} = 35,4 \text{ kN}$ và $\gamma_{Ms} = 1,25$, sức kháng cắt thiết kế của bu long là $V_{Rd,s} = V_{Rk,s}/\gamma_{Ms} = 28,32 \text{ kN}$. Như vậy $V_{Ed} = 5 \text{ kN} \leq V_{Rd,s} = 28,32 \text{ kN}$ - Thỏa mãn điều kiện bu long không bị phá hoại do cắt.

b. Theo điều kiện không phá hoại do bê tông bị đào bửa ra

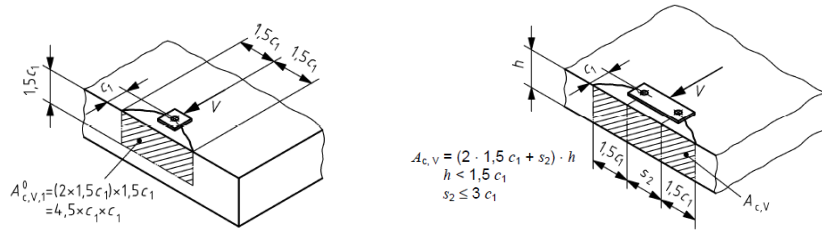
Sự phá hoại bê tông bị bửa ra gây bởi lực cắt của cả cụm bu long cần được kiểm tra theo biểu thức $V_{Ed} \leq V_{Rk,cp}/\gamma_c$; trong đó $V_{Rk,cp} = k_3 N_{Rk,c} = 97,56 \text{ kN}$ là khả năng chịu kéo của bê tông với $k_3 = 2,78$ theo ETA [12] và $N_{Rk,c}$ là sức kháng đặc trưng đã được tính toán do trường hợp bê tông vỡ hình nón. Như vậy $V_{Ed} = 10 \text{ kN} \leq V_{Rd,c} = 65,04 \text{ kN}$ - Thỏa mãn điều kiện bê tông không bị bửa ra.

c. Theo điều kiện không phá hoại do bê tông bị vỡ mép

Sự phá hoại bê tông do bị vỡ mép gây bởi cả cụm bu long cần được kiểm tra theo biểu thức $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$, trong đó $V_{Rd,c}$ là sức chịu tải của cụm bu long được xác định dựa trên khả năng chịu kéo của hệ bu long theo phương của lực cắt $V_{Rd,c} = V_{Rd,c}^o \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^o} \psi_{s,V} \psi_{h,V} \psi_{ec,V} \psi_{a,V} \psi_{re,V}$ với sức kháng cắt

$V_{Rd,c}^o$ được tính theo biểu thức $V_{Rd,c}^o = k_9 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1,5} = 15,12 \text{ kN}$ với $k_9 = 1,7$; các thông số $d_{nom} = 12$ và $l_f = 70$ được lấy theo đặc tính kỹ thuật từ ETA [12]; giá trị các số mũ $\alpha = 0,84$ và $\beta = 0,65$ cũng như tham số $c_1 = 100$ được tính toán từ các thông số hình học của loại bu long; tỷ số $A_{c,V}/A_{c,V}^o$ là hệ số về mức độ chồng lấn lớp diện tích chịu kéo do các bu long ở gần nhau, với $A_{c,V} = 60000 \text{ mm}^2$ và $A_{c,V}^o = 45000 \text{ mm}^2$ (Hình 8).

Các hệ số $\psi_{s,V} = 1,0$ xét tới hiệu ứng do sự nhiễu loạn ứng suất gần mép; $\psi_{h,V} = 1,0$ xét tới ảnh hưởng của bề dày lớp vật liệu nền; $\psi_{sc,V} = 1,0$ xét tới hiệu ứng của sự phân bố lệch tâm của tải trọng lên nhóm bu long; $\psi_{a,V} = 1,0$ xét tới ảnh hưởng của phương hướng tác dụng lên bu long; và $\psi_{re,N} = 1,0$ xét tới tác dụng của sự gia cường cốt thép trong bê tông. Như vậy $V_{Ed} = 10 \text{ kN} \leq V_{Rd,c}/\gamma_c = 13,44 \text{ kN}$ - Thỏa mãn điều kiện bê tông không bị vỡ mép.



Hình 8. Hình chiếu của nhóm bu long lên bề mặt mép [4]

3.5. Kiểm tra điều kiện chịu lực - dưới tác động đồng thời của lực cắt và lực kéo

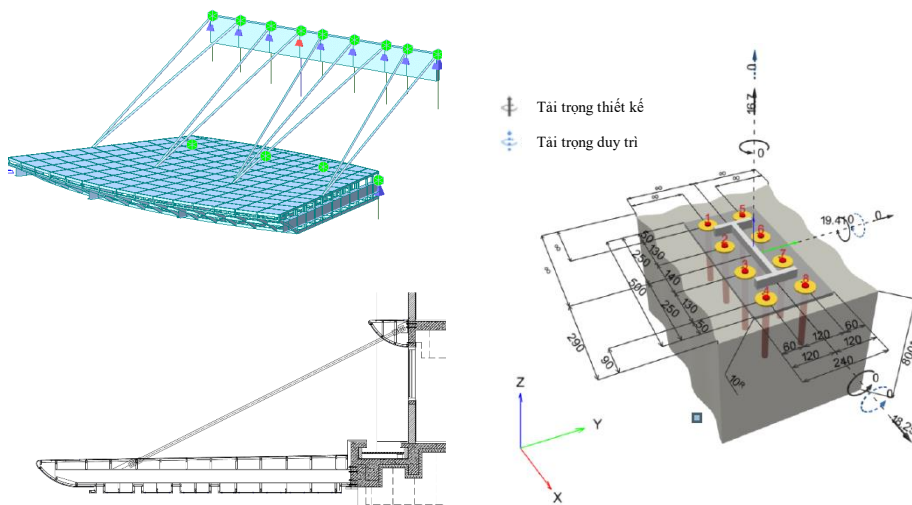
Sự phá hoại sự tác động đồng thời của lực cắt và lực kéo cần được kiểm tra theo biểu thức $\beta_N^2 + \beta_V^2 \leq 1,0$ trong đó $\beta_N = N_{Ed}/N_{Rd} \leq 1,0$ và $\beta_V = V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1,0$. Với các giá trị $N_{Ed} = 10$ kN; $N_{Rd} = 23,11$ kN; $V_{Ed} = 10$ kN; $V_{Rd} = 13,44$ kN ta có $\beta_N^2 + \beta_V^2 = 0,74$. Như vậy thỏa mãn điều kiện chịu lực dưới tác động đồng thời của lực cắt và lực kéo. Ví dụ số 1 cho thấy trong một số trường hợp, hệ thống liên kết khoan cấy vẫn đủ chịu lực với chiều sâu neo bu long vào bê tông nhỏ hơn 10 lần đường kính bu long.

4. Ví dụ tính toán số 2

Ví dụ này giới thiệu bài toán thiết kế hệ thống khoan cấy cho liên kết mái sảnh bằng kết cấu thép vào bê tông với cấu tạo phức tạp hơn và giá trị lực tác động cao hơn so với ví dụ trước. Các bước tính toán và kiểm tra trong ví dụ này tương tự như ở ví dụ số 1 nhưng được tự động hóa bằng phần mềm HPE (Hilti Profis Engineering) [15], trong đó đã tích hợp hệ thống tiêu chuẩn châu Âu.

4.1. Thông số đầu vào

Mái sảnh bằng kết cấu thép được liên kết với dầm bê tông cốt thép với các giá trị tải trọng thiết kế cho trường hợp nguy hiểm nhất tại tiết diện cần kiểm tra là lực cắt $V_{Ed} = 18,25$ kN, lực nhỏ $N_{Ed} = 16,70$ kN và mômen uốn $M_{Ed} = 19,41$ kNm (Hình 9).

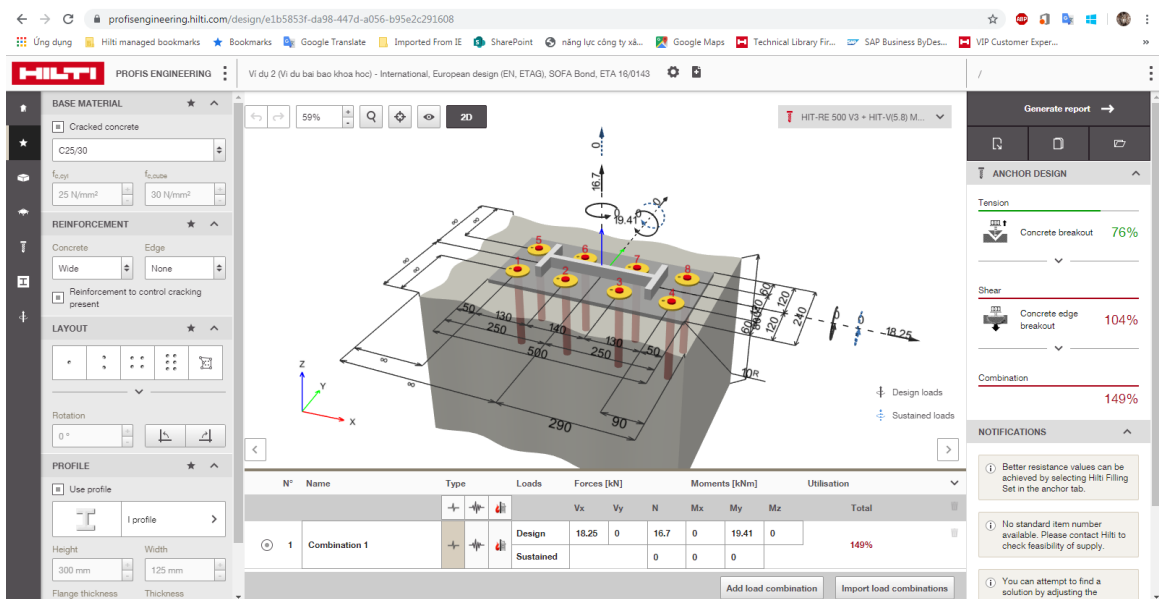


Hình 9. Ví dụ số 2 - Liên kết khoan cấy cho mái sảnh

Các thông số điều kiện đầu vào là bê tông C25/30; sử dụng tám bu long hóa chất Hilti HIT-V M20 với cường độ thép 5.8 và hóa chất HIT RE500v3 với ETA-16/0143 [13]; chiều sâu neo thiết kế là 200 mm (10 lần đường kính bu long); khoan cấy sử dụng khoan búa trong điều kiện khô. Các bu long được bố trí thành bốn hàng cách nhau từ 130 đến 140 mm, trong mỗi hàng có hai bu long cách nhau 120 mm. Khoảng cách từ bu long đến mép bản mã là 50 mm, đến mép dầm bê tông là 90 mm (Hình 8). Bản mã thép có kích thước 240×500 mm, dày 10 mm. Giả thiết bản mã được gia cường bằng các sườn cứng để áp dụng lý thuyết EC2-4 với lựa chọn “Rigid design” trong phần mềm HPE để phân phối nội lực tuyến tính tới từng bu long. Với bản mã có độ cứng hạn chế, lý thuyết CBFEM (Component-Based Finite Element Method) được tích hợp trong phần mềm HPE cũng có thể được sử dụng để giải quyết bài toán phân phối nội lực.

4.2. Kiểm tra sức chịu tải với điều kiện bền

Các bước tính toán thiết kế cho bu long hóa chất được quy định cho tiêu chuẩn EC2-4-5 [5]. Tuy nhiên, trong quá trình chuyển đổi, hệ thống cũ EOTA vẫn được chấp nhận vì phù hợp với các tiêu chuẩn kiểm định hiện hành. Mặt khác, do tiêu chuẩn EC2-4 [3–5] chỉ áp dụng giới hạn trong một số loại hình bố trí bu long nên trong ví dụ này hệ thống EOTA mở rộng được sử dụng và tích hợp vào phần mềm HPE (Hình 10) [14].



Hình 10. Giao diện phần mềm HPE (Hilti Profis Engineering) [14]

Từ nội lực tại vị trí bản mã, phần mềm HPE tính toán hệ quả tác động lên từng bu long như trong Bảng 1. Với mô men gây lệch tâm, hệ quả tác động trên mỗi bu long là khác nhau và sẽ ảnh hưởng đến khả năng chịu tải của cả cụm bu long.

Kết quả kiểm tra điều kiện chịu lực - với tác động kéo nhỏ với bốn dạng phá hoại được trình bày trong Bảng 2. Trong đó giá trị tính toán sức kháng của vật liệu thép bu long là an toàn nhất, tải trọng chỉ đạt 23% khả năng làm việc của thép. Trường hợp phá hủy dễ xảy ra nhất là bê tông bị vỡ theo hình nón, với hệ số hiệu dụng $\beta_N = 0,75$.

Bảng 1. Phân phối hệ quả tác động trên từng bu long

Vị trí bu long	Số 1, 5	Số 2, 6	Số 3, 7	Số 4, 8
Lực kéo (kN)	18,664	11,482	3,747	0,000
Lực cắt (kN)	2,281	2,281	2,281	2,281



Bảng 2. Kiểm tra điều kiện chịu lực - với tác động kéo nhỏ

Điều kiện phá hoại	Nội lực (kN)	Sức kháng (kN)	Hệ số β_N	Đánh giá
Phá hoại bu long (kéo)*	18,664	81,667	0,23	Đạt
Tuột neo của bu long**	67,787	95,516	0,71	Đạt
Bê tông vỡ theo hình nón**	67,787	90,216	0,75	Đạt
Bê tông bị nứt tách**	-	-	-	-

* kiểm tra cho một bu long; ** kiểm tra cho cả cụm bu long.

Bảng 3 cho thấy với tác động của lực cắt, sức chịu tải huy động của thép là rất nhỏ (chỉ 5%). Tuy nhiên, điều kiện bê tông bị vỡ mép theo phương của lực cắt đã không được thỏa mãn (hệ số hiệu dụng $\beta_V = 1,03$).

Bảng 3. Kiểm tra điều kiện chịu lực - với tác động của lực cắt

Điều kiện phá hoại	Nội lực (kN)	Sức kháng (kN)	Hệ số β_V	Đánh giá
Phá hoại bu long (cắt)*	2,281	49,040	0,05	Đạt
Phá hoại bu long (cắt + uốn)*	-	-	-	-
Bê tông bị đào bửa ra**	18,250	185,636	0,10	Đạt
Bê tông bị vỡ mép**	18,250	17,711	1,03	Không đạt

* kiểm tra cho một bu long; ** kiểm tra cho cả cụm bu long.

Bảng 4 cho thấy khi chịu tác động đồng thời của lực cắt và lực kéo, điều kiện kiểm tra không đảm bảo do tác động vượt 49% so với sức kháng của toàn bộ hệ thống.

Bảng 4. Kiểm tra điều kiện chịu lực - dưới tác động đồng thời của lực cắt và lực kéo

Hệ số hiệu dụng β_N	Hệ số hiệu dụng β_V	α	Hệ số $\beta_{N,V}$	Đánh giá
0,751	1,030	1,000	1,49	Không đạt

Như vậy trong ví dụ này, hệ thống liên kết khoan cấy không đảm bảo chịu lực với chiều sâu neo bu long bằng 10 lần đường kính của nó. Để hệ thống đủ an toàn chịu lực, cần tăng chiều sâu neo bu long từ 200 lên 300 mm và tăng khoảng cách từ bu long tới mép bê tông gần nhất từ 90 lên 150 mm. Khi đó, sử dụng phần mềm HPE sẽ xác định được các hệ số hiệu dụng kháng kéo nhỏ, kháng cắt và dưới tác dụng đồng thời của lực cắt và lực kéo lần lượt là $\beta_N = 0,53$, $\beta_V = 0,70$ và $\beta_{N,V} = 0,96$.

5. Kết luận

Từ những kết quả trình bày trong bài báo, có thể rút ra những kết luận sau:

- Hệ thống tiêu chuẩn châu Âu về khoan neo cấy bu long vào bê tông là một hệ thống đồng bộ, khoa học và có thể được áp dụng thuận tiện trong thực hành.

- Khi thiết kế giải pháp khoan neo cấy bu long vào bê tông theo hệ thống tiêu chuẩn châu Âu, cần kiểm tra đầy đủ các dạng phá hoại có thể xảy ra đối với từng bu long và với bê tông do tác động kéo nhỏ (phá hoại do vỡ theo hình nón, do bị nứt tách); hoặc với tác động cắt (phá hoại do bị bửa ra, do bị vỡ mép) gây bởi cả cụm bu long.

- Các kết quả phân tích cho thấy bu long thường không phải là yếu tố nguy hiểm nhất khi xác định khả năng làm việc của hệ thống khoan neo cấy do giá trị sức kháng của thép thường rất lớn và đảm bảo đối với các tác động của tải trọng. Trong nhiều trường hợp, yếu tố quyết định khả năng chịu lực của hệ khoan neo cấy là bê tông. Bên cạnh đó, chiều sâu neo bu long vào bê tông cũng cần được tính toán sao cho vừa đảm bảo an toàn chịu lực, vừa hợp lý về kinh tế mà không nên chọn cố định theo một thông số kinh nghiệm.

Trong thời gian tới, cần sớm nghiên cứu, xây dựng và ban hành một hệ thống quy chuẩn quốc gia và tiêu chuẩn thiết kế đồng bộ của Việt Nam cho lĩnh vực liên kết nối chung và khoan neo cấy bu long vào bê tông nói riêng theo yêu cầu cập nhật và tiệm cận với các tiêu chuẩn quốc tế. Bên cạnh đó, cần nghiên cứu sâu hơn về ảnh hưởng tiêu cực của liên kết khoan cấy cũng như về những khu vực cần tránh đặt liên kết khoan cấy trên kết cấu chịu lực chính của công trình.

Tài liệu tham khảo

- [1] TCVN 5574:2018. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [2] TCVN 5575:2012. *Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Xây dựng, Việt Nam.
- [3] EN 1992-4-1:2018. *Eurocode 2: Design of fastenings for use in concrete - Part 4-1: General*. CEN, Brussels.
- [4] EN 1992-4-4:2018. *Eurocode 2: Design of fastenings for use in concrete - Part 4-4: Post-installed fasteners - Mechanical systems*. CEN, Brussels.
- [5] EN 1992-4-5:2018. *Eurocode 2: Design of fastenings for use in concrete - Part 4-5: Post-installed fasteners - Chemical systems*. CEN, Brussels.
- [6] CPD (1989). *Council Directive 89/106/EEC: The construction products directive*.
- [7] CPR (2011). *Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council*.
- [8] EOTA (2018). <https://www.eota.eu/en-GB/content/etags-used-as-ead/26/>.
- [9] Pombo, L., Li, Y. (2018). *A long journey to Eurocode 2 for anchor design*. Hilti Seminar Document, Schaan, Liechtenstein.
- [10] Li, Y. (2017). *New fastening code - EC2-4 Part 2. Changes for post-installed anchor fastening design*. Hilti Seminar Document, Schaan, Liechtenstein.
- [11] Hilti Corporation (2005). *Hilti anchor fastening technology manual*. Schaan, Liechtenstein.
- [12] ETA-98/0001 (2018). *Hilti metal expansion anchor HST, HST-R, HST-HCR, HST3, HST3-R*. DIBt, Berlin, Đức.
- [13] ETA-16/0143 (2017). *Injection system Hilti HIT-RE 500 V3*. CSTB, Pháp.
- [14] Hilti Profis Engineering. <https://profisengineering.hilti.com>.