Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng NUCE 2019. 13 (3V): 84–90

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA MÁY ĐÙN ÉP ỐNG BÊ TÔNG CỐT SỢI

Lưu Đức Thạch[a,*], Phùng Công Dũng[b], Bùi Tiến Tùng[a], Đinh Thu Thảo[a], Nguyễn Gia Tùng[a]

[a]*Khoa Cơ khí Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng,*
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam
[b]*Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải,*
54 đường Triều Khúc, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 03/06/2019, Sửa xong 17/06/2019, Chấp nhận đăng 21/06/2019

Tóm tắt

Máy đùn ép bê tông cốt sợi (ECC) đang dần được sử dụng trong lĩnh vực xây dựng để làm ống cấp nước, thoát nước và các cấu kiện bê tông đúc sẵn. Loại sản phẩm này được sản xuất bằng bê tông cốt sợi thành mỏng có trọng lượng nhẹ và khả năng chịu uốn cao hơn so với các loại sản phẩm bê tông cốt thép thông thường. Trong bài báo này trình bày mô hình khảo sát và xác định các thông số cơ bản của máy đùn ép ống bê tông. Hỗn hợp bê tông cốt sợi được đưa vào vùng nạp liệu, sau đó dưới áp lực của piston, vật liệu bị ép đến vùng chuyển tiếp, vùng tạo hình và vùng tách nước. Sản phẩm sau khi được tách nước sẽ được cắt theo chiều dài yêu cầu của ống và đưa đến phòng xử lý hơi nước để làm cứng. Nghiên cứu cũng xác định được các thông số như: áp lực trong các vùng nạp liệu, góc nghiêng tạo bởi mặt côn của vùng chuyển tiếp, đường kính vùng nạp liệu và chiều dài vùng chuyển tiếp; chiều dài của vùng tạo hình, v.v., của máy đùn ép piston nhằm giúp cho việc thiết kế, chế tạo và làm chủ công nghệ đùn ép ống bê tông ECC tại Việt Nam.

Từ khoá: bê tông cốt sợi ECC; máy đùn ép piston; công nghệ đùn ép.

RESEARCH TO DETERMINE BASIC PARAMETERS OF FIBER REINFORCED CONCRETE EXTRUDER

Abstract

Fiber reinforced concrete extruder (ECC) is gradually being used in construction to make water supply and drainage pipes and precast concrete components. These products are manufactured by fiber reinforced concrete with light weight and higher bending resistance than conventional reinforced concrete products. The survey model is shown in this paper and the basic parameters of ECC are determined. Fiber reinforced concrete mixture is put into the material feed zone and then under the pressure of the piston, the material is pressed to the transition zone, the forming zone and the dewatering zone. After being dewatered, the product is cut by the tube required length and hardened in the steam treatment room. Besides, the basic parameters of ECC such as pressure in the material feed zone, tilt angle created by the conical face of the transition zone, the material feed zone diameter and the length of transition zone, the length of the forming zone are determined to help in designing, manufacturing and mastering ECC technology in Vietnam.

Keywords: ECC fiber reinforced concrete; piston extruder; extrusion technology.

https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(3V)-09 © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, nhu cầu sử dụng ống để cấp, thoát nước trong các khu đô thị, nhà cao tầng ngày càng gia tăng. Các phương pháp pháp đúc ống truyền thống sử dụng hỗn hợp bê tông cốt thép được trình

*Tác giả chính. *Địa chỉ e-mail:* luuducthach@gmail.com (Thạch, L. Đ.)

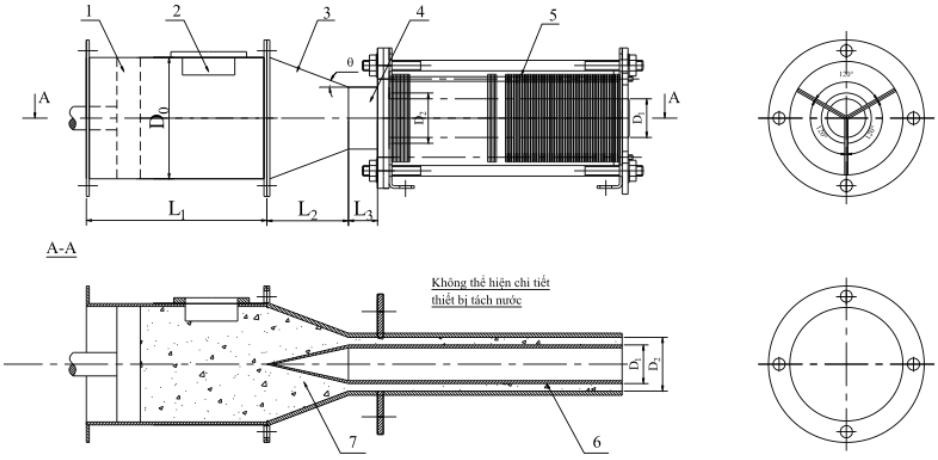
bày theo tài liệu [1–3] có ưu điểm là đơn giản, dễ tạo hình, v.v. Tuy nhiên, nhược điểm của những phương pháp này là chiều dày của ống từ 70÷150 mm tốn nhiều vật liệu và có trọng lượng ống lớn, thời gian đông kết của bê tông dài dẫn đến năng suất không cao. Để giảm trọng lượng của ống và tăng khả năng chịu uốn người ta sử dụng các loại bê tông composite như FRC, HSCC, ECC [4], . . . Cấp phối để sản xuất các ống này thường bao gồm: xi măng, bột silica (cỡ hạt trung bình 5 μm), bột thạch anh (cỡ hạt trung bình 24 μm), cát mịn (d_{max} = 250 μm), tro bay và sợi cốt liệu (loại chuyên dùng). Theo phương pháp mới này ống có chiều dày nhỏ từ 10 ÷30 mm tiết kiệm được vật liệu và giảm được trọng lượng ống nhưng vẫn đảm bảo khả năng chịu lực theo yêu cầu. Do đó việc vận chuyển, lắp đặt hết sức dễ dàng.

Trên thế giới một số quốc gia như Mỹ, Đan Mạch, Nhật Bản, Úc, v.v. đã nghiên cứu và đưa ra phương pháp đùn ép để sản xuất các loại ống thoát nước [5–10]. Tuy nhiên các kết quả nghiên cứu mới chỉ dừng lại ở việc sản xuất thử nghiệm và còn rất khó áp dụng vào sản xuất. Tại Việt Nam hiện nay chưa có một nghiên cứu nào về loại máy này. Vì vậy, việc nghiên cứu xác định các thông số cơ bản của máy đùn ép là hết sức cần thiết góp phần cho việc thiết kế, chế tạo trong nước.

2. Nội dung

2.1. Sơ đồ cấu tạo và nguyên lý làm việc của cơ cấu ép đùn

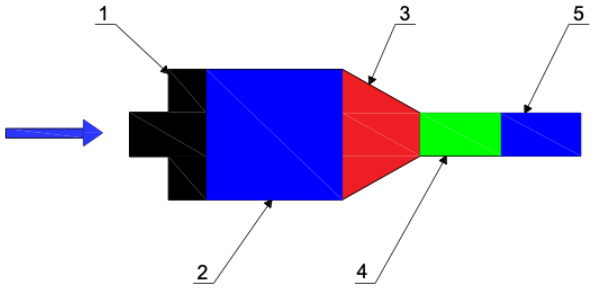
Máy đùn ép điều khiển bằng piston, Hình 1 sử dụng áp lực từ piston để ép hỗn hợp bê tông về phía trước.



1 - Piston xylanh đùn; 2 - Cửa nạp; 3 - Côn chuyển tiếp; 4 - Khuôn tạo hình; 5 - Thiết bị tách nước; 6 - Lõi khuôn; 7- Hỗn hợp bê tông cốt sợi

Hình 1. Sơ đồ cấu tạo máy đùn ép piston

Hình 2 là sơ đồ nguyên lý đùn ép bằng piston. Hỗn hợp bê tông ECC được đưa vào vùng nạp liệu (2), sau đó piston (1) ép về phía trước đẩy hỗn hợp bê tông vào vùng chuyển tiếp (3) và tại đây, quá trình nén của hỗn hợp bê tông sẽ được diễn ra. Tiếp theo, hỗn hợp bê tông đi qua khuôn (4) có hình dạng mặt cắt giống như của ống mong muốn. Sau đó được đẩy sang vùng tách nước (5), tại đây nước được ép gần hết ra khỏi hỗn hợp bê tông. Khi ra khỏi vùng tách nước, ống bê tông được cắt theo chiều dài yêu cầu và đưa đến phòng dưỡng hộ để làm cứng.



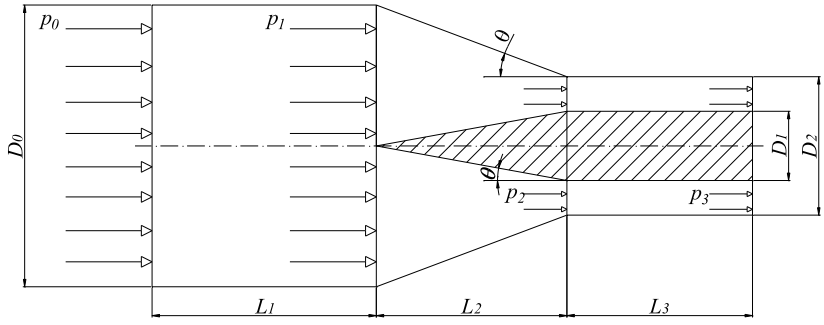
1 - Piston; 2 - Vùng nạp liệu; 3 - Vùng chuyển tiếp; 4 - Ống tạo hình; 5 - Vùng tách nước

Hình 2. Sơ đồ nguyên lý đùn ép bằng piston

2.2. *Xác định thông số cơ bản của máy đùn ép*

Các thông số cơ bản của máy đùn ép bao gồm: áp lực, đường kính ống, chiều dài trong vùng nạp liệu; áp lực, góc nghiêng tạo bởi mặt côn và chiều dài của vùng chuyển tiếp; chiều dài của vùng tạo hình, v.v. Để xác định các thông số cơ bản của máy đùn ép cần thiết lập phương trình cân bằng áp suất của hỗn hợp bê tông trong quá trình đùn ép. Do hỗn hợp bê tông ECC được xem như hỗn hợp bê tông dẻo [5], cho nên khi thiết lập phương trình cân bằng áp suất cần có một số giả thiết sau: Chuyển động của một điểm trong vùng đùn ép là giống nhau theo mọi hướng; các phản lực được phân bố đều trên mặt cắt ngang của vùng đùn ép, bỏ qua trọng lực của hỗn hợp bê tông, lực ma sát được xác định bởi ứng suất tiếp trên bề mặt ống đùn $\tau(x)$ với thành bên của ống.

Trong khuôn khổ bài báo này, chỉ xác định các thông số cơ bản của vùng đùn ép 2, 3, 4 theo Hình 2. Phần tách nước 5 sẽ được trình bày ở bài báo tiếp theo. Sơ đồ các vùng đùn ép hỗn hợp bê tông được trình bày ở Hình 3. Trong đó D_0 là đường kính vùng nạp liệu 2; D_1 là đường kính trong của ống đùn; D_2 là đường kính ngoài của ống đùn; p_0 là áp lực đầu vào; $p_1, L_1, p_2, L_2, p_3, L_3$ lần lượt là áp lực và chiều dài tại các vùng nạp liệu 2, vùng chuyển tiếp 3 và vùng tạo hình 4.



Hình 3. Sơ đồ các vùng đùn ép hỗn hợp bê tông ECC

- Xét phân tố dx tại vùng nạp liệu L_1: Ta lấy một phân tố dx có khoảng cách đến điểm đầu của piston ép là x.

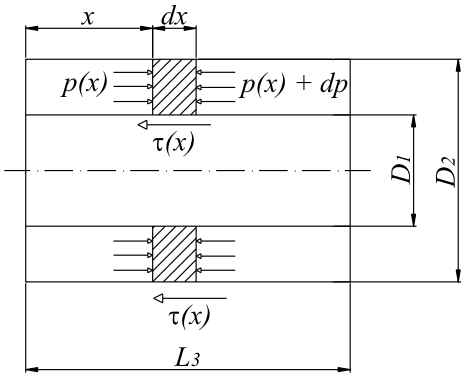
Phương trình cân bằng các lực nằm ngang tác dụng lên phân tố dx (Hình 4) là:

$$\sum F_x = 0$$

$$\frac{\pi D_0^2}{4} p(x) = \frac{\pi D_0^2}{4} [p(x) + dp] + \pi D_0 dx\, \tau(x) \quad (1)$$

trong đó $\tau(x)$ là ứng suất tiếp sinh ra trên bề mặt ống đùn. D_0 là đường kính ống nạp liệu, không đổi cho các phần chuyển tiếp tương ứng. Ứng suất bề mặt ma sát, $\tau(x)$, có thể được biểu thị bằng áp lực dọc tác động lên bề mặt của máy đùn và hệ số ma sát μ. Theo giả thiết của dòng chất lỏng, áp lực dọc tại một điểm bằng với áp lực ngang tại điểm đó. Do đó, $\tau(x)$ có thể được biểu thị như sau:

$$\tau(x) = \frac{1}{2}\left[p(x) + (p(x) + dp)\right]\mu \tag{2}$$



Hình 4. Sơ đồ tính lực tác dụng lên phân tố dx tại vùng L_1

Theo [5] cho rằng, để đơn giản hóa trong quá trình tích phân và không ảnh hưởng đến quá trình tính toán, ta có thể bỏ qua dp. Như vậy phương trình (2) được rút gọn thành:

$$\tau(x) = p(x)\mu \tag{3}$$

Thay phương trình (3) vào phương trình (1), ta được:

$$\frac{\pi D_0^2}{4}p(x) = \frac{\pi D_0^2}{4}(p(x) + dp) + \pi D_0 p(x)\mu dx \tag{4}$$

$$\frac{\pi D_0^2}{4}dp = -\pi D_0 p(x)\mu dx$$

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{4\mu p(x)}{D_0} \tag{5}$$

Tích phân phương trình (5) nhờ chương trình Mathematica 10.0 [11], ta được:

$$p(x) = p_0 e^{-\frac{4\mu x}{D_0}} \tag{6}$$

- Xét phân tố dx tại vùng chuyển tiếp L_2: Đường kính ngoài và đường kính trong của phân tố dx (Hình 5) được xác định theo công thức:

$$D_n = D_0 - 2x\tan\theta \tag{7}$$

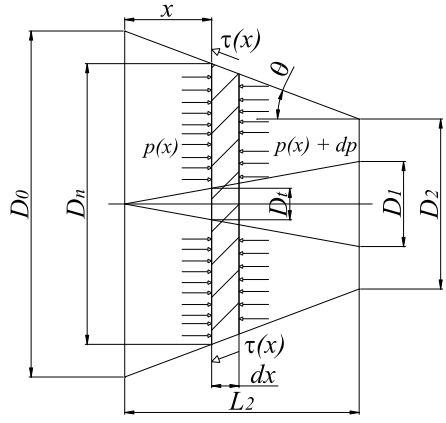
$$D_t = 2x\tan\theta \tag{8}$$

Chiều dài vùng chuyển tiếp L_2 được tính theo công thức:

$$L_2 = \frac{D_0 - D_2}{2\tan\theta} \tag{9}$$

Xét cân bằng các lực tác dụng lên phân tố dx theo phương ngang [8] ta có:

$$\sum F_x = 0$$



Hình 5. Sơ đồ lực tác dụng lên phân tố dx tại vùng L_2

$$\frac{\pi\left(D_n^2 - D_t^2\right)}{4}p(x) = \frac{\pi\left(D_n^2 - D_t^2\right)}{4}(p(x) + dp) + \pi dx\tau(x)D_n \tag{10}$$
$$- \pi dx p(x)D_n\tan\theta + \pi dx\tau(x)D_t - \pi dx p(x)D_t\tan\theta$$

Từ phương trình (10), ta được:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{4(\tan\theta - \mu)p(x)}{D_n - D_t} \tag{11}$$

Thay (7), (8) vào (11), tích phân phương trình nhờ phần mềm Mathematica, ta được:

$$p(x) = p_1 e^{-\frac{1}{4}\cot\theta \log(-D_0\cos\theta + 4x\sin\theta(8\mu - 4\tan\theta))} \tag{12}$$

- Xét phân tố dx trong vùng tạo hình L_3: Xét cân bằng lực nằm ngang theo phương x tác dụng lên phân tố dx (Hình 6): $\sum F_x = 0$. Ta có:

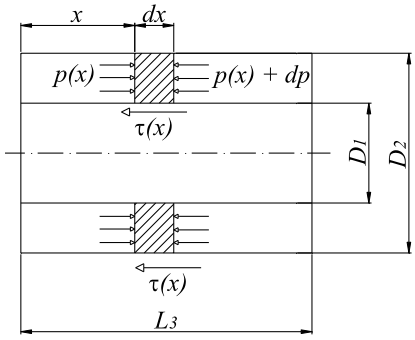
$$\frac{\left(D_2^2 - D_1^2\right)\pi}{4}p(x) = \frac{\left(D_2^2 - D_1^2\right)\pi}{4}(p(x) + dp) + \mu p(x)\pi D_1 dx + \mu p(x)\pi D_2 dx \tag{13}$$

Suy ra:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{-4\mu p(x)}{D_2 - D_1} \tag{14}$$

Tích phân phương trình (14) ta được

$$p(x) = p_2 e^{\frac{-4\mu x}{D_2 - D_1}} \tag{15}$$



Hình 6. Sơ đồ tính lực tác dụng lên phân tố dx ở vùng L_3

2.3. Khảo sát xác định các thông số cơ bản của máy đùn ép

a. Thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông

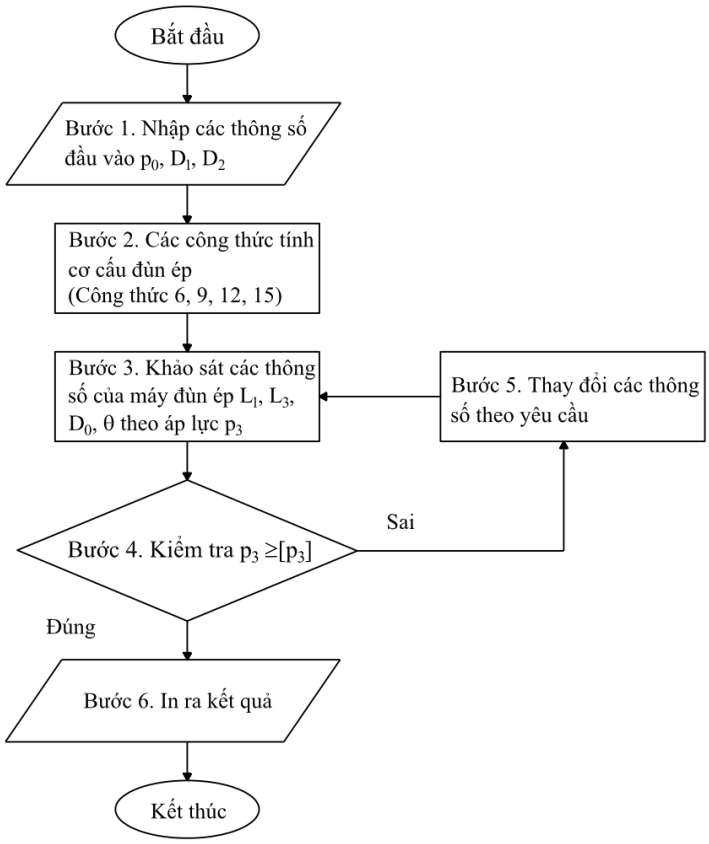
Nguyên liệu bột cơ bản là xi măng Portland (RC, khối lượng riêng: γ = 3,15 g/cm^3, cỡ hạt trung bình: 14 μm). Xi măng này được kết hợp với 4 loại vật liệu khác nhau: bột Silica (Elkem Silica: ES, khối lượng riêng: γ = 2,17 g/cm^3, cỡ hạt trung bình: 5 μm), bột thạch anh (QS, khối lượng riêng: γ = 2,62 g/cm^3, cỡ hạt trung bình: 24 μm), cát bãi biển (BS, khối lượng riêng γ = 2,20 g/cm^3, $d_{\max}$ ~ 250 μm) và tro bay (FA, khối lượng riêng: γ = 2,20 g/cm^3, cỡ hạt 50 μm).

b. Sơ đồ khảo sát các thông số hình học của máy đùn

Thông số đầu vào khảo sát của máy đùn: D_0 = 35 cm; D_1 = 6,6 cm; D_2 = 8,8 cm; μ = 0,12; θ = 40 độ; p_0 = 10 Mpa.

- Các thông số cố định gồm có: Đường kính trong D_1 và đường kính ngoài D_2; Hệ số cản ma sát μ giữa hỗn hợp bê tông ECC và ống đùn; Áp lực ban đầu của piston ép p_0 vào hỗn hợp bê tông ECC.

- Các kết quả cần đạt được: Khảo sát được sự thay đổi áp lực trong các vùng nạp liệu L_1, L_3; Khảo sát sự ảnh hưởng của góc nghiêng θ đến áp lực p_3 khi ra khỏi vùng tạo hình L_3 để lựa chọn góc nghiêng hợp lý; Khảo sát sự ảnh hưởng của đường kính vùng nạp liệu D_0 để lựa chọn đường kính vùng nạp liệu hợp lý. Từ các kết quả nghiên cứu lý thuyết, ta thiết lập sơ đồ khối khảo sát từng thông số của máy (Hình 7).



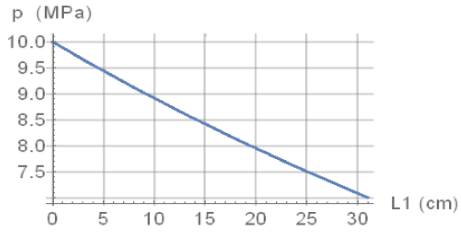
Hình 7. Sơ đồ khối khảo sát các thông số của máy đùn ép

c. Kết quả khảo sát

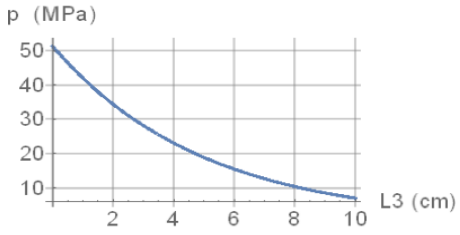
Từ sơ đồ khối Hình 7 và các công thức đã được xác định ở mục 2.2, sử dụng phần mềm Mathematica, ta được kết quả như Hình 8–9. Nhìn vào đồ thị Hình 8, ta thấy rằng áp lực p_0 giảm từ 10 MPa ban đầu khi qua vùng nạp liệu L_1 chỉ còn khoảng 6,5 MPa. Đồ thị Hình 9 cho ta thấy, áp lực giảm từ khoảng 40 MPa xuống dưới 10 MPa. Theo yêu cầu của hỗn hợp bê tông tạo hình [2], áp lực cần thiết cho vùng ép nước ra khỏi hỗn hợp bê tông là $p = 8 \div 12$ MPa. Như vậy, chiều dài $L_3 = 6$ cm là phù hợp với các thông số của máy đùn ép để đạt được áp lực p_3 theo yêu cầu.

Nhìn vào đồ thị Hình 10, ta thấy phân bố áp lực ảnh hưởng bởi góc nghiêng θ có dạng hình parapol. Khi góc nghiêng θ ở trong khoảng từ 40÷60 độ thì áp lực có giá trị lớn nhất. Như vậy, phải lựa chọn được góc nghiêng hợp lý để đạt được áp lực thích hợp nhất.

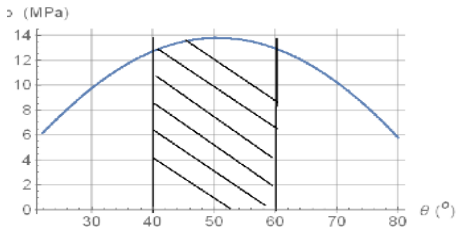
Đồ thị Hình 11 cho ta thấy, khi đường kính vùng nạp liêu D_0 càng tăng thì áp lực đầu ra cũng tăng. Đường kính vùng nạp liệu phải đạt từ 26 cm trở lên mới đảm bảo áp lực đầu ra yêu cầu.



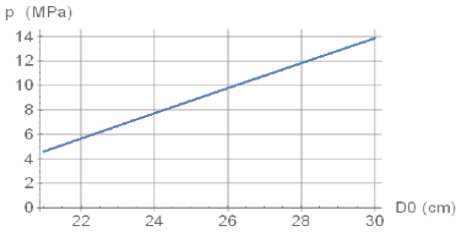
Hình 8. Sự thay đổi áp lực trong vùng nạp liệu L_1



Hình 9. Sự thay đổi áp lực trong vùng tạo hình L_3



Hình 10. Sự ảnh hưởng của góc nghiêng θ thay đổi đến áp lực p_3



Hình 11. Sự ảnh hưởng của đường kính vùng nạp liệu D_0 thay đổi đến áp lực p_3

3. Kết luận

Bài báo đã xây dựng mô hình và thiết lập các công thức toán học thể hiện mối tương quan giữa áp lực ép đầu vào p_0 và các thông số hình học của vùng nạp liệu L_1, góc nghiêng θ, vùng khuôn tạo hình L_3 và đường kính D_0 của vùng nạp liệu phục vụ cho quá trình ép tách nước tiếp theo của hỗn hợp bê tông. Khảo sát sự thay đổi của các thông số và xác định được $L_1 = 25$ cm, $L_3 = 6$ cm, $\theta = 40 \div 60$ độ, $D_0 = 26 \div 30$ cm theo áp lực tại các vùng đùn ép.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Công ty cốt sợi Polyme Việt Nam (VITEC) cho việc chế tạo và thử nghiệm máy đùn ép.

Tài liệu tham khảo

[1] Chính, V. L., Anh, N. K., Mai, N. T. T., Ngọ, Đ. T., Tuấn, T. V., Xuân, N. T. (2013). *Máy và thiết bị sản xuất hỗn hợp bê tông và cấu kiện xây dựng*. NXB Xây dựng Hà Nội.

[2] Phiêu, N. V. (2006). *Thiết bị công nghệ hỗn hợp bê tông xây dựng*. NXB Xây dựng Hà Nội.

[3] Tuấn, T. V., Thạch, L. Đ. (2007). Đề xuất và chứng minh giả thuyết khoa học thành luận điểm trong nghiên cứu quá trình đúc bê tông trên bàn rung. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD)-ĐHXD*, 1 (2).

[4] Dhawale, A. W., Joshi, V. P. (2013). Engineered cementitious composites for structural applications. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 2:198–205.

[5] Srinivasan, R., DeFord, D., Shah, S. P. (1999). The use of extrusion rheometry in the development of extruded fiber-reinforced cement composites. *Concrete Science and Engineering*, 1(1):26–36.

[6] Christo, R. V. (2007). *Mechanical and structural characterisation of extrusion moulded SHCC*. Doctoral Thesis, University of Stellenbosch.

[7] Perrot, A., Rangeard, D., Nerella, V. N., Mechtcherine, V. (2018). Extrusion of cement-based materials-an overview. *RILEM Technical Letters*, 3:91–97.

[8] Stang, H., Fredslund-Hansen, H., Puclin, T., Harrington, B. (2008). Extrusion of ECC: Recent developments and applications. In *7th International RILEM Symposium on Fibre Reinforced Concrete: Design and Applocations*, Chennai, India, Rilem publications, 461–470.

[9] Alfani, R., Guerrini, G. L. (2005). Rheological test methods for the characterization of extrudable cement-based materials - A review. *Materials and Structures*, 38(2):239–247.

[10] Perrot, A., Lanos, C., Estellé, P., Melinge, Y. (2006). Ram extrusion force for a frictional plastic material: model prediction and application to cement paste. *Rheologica Acta*, 45(4):457–467.

[11] Tước, V. N. (2000). *Ngôn ngữ lập trình Mathematica 3.0*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.