# Ước lượng hệ số cho phương trình lưu lượng nước rò rỉ trên mạng lưới cấp nước

Estimation of coefficients in leakage flow equation on the water supply network

# > PHẠM THỊ MINH LÀNH

Khoa Kỹ thuật Hạ tầng Đô thị, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM

# TÓM TẮT:

Lưu lượng nước rò rỉ trên mạng lưới cấp nước (MLCN) được xác định theo áp suất làm việc của các đường ống và các hệ số mũ (n) và hệ số lưu lượng rò rỉ (k), các hệ số này đại diện cho các đặc trưng của điểm bể như tiết diện, hình thái dòng chảy rò rỉ hay môi trường đất bên ngoài điểm rò rỉ. Mỗi điểm bể lại có những đặc điểm riêng nhưng không thể khảo sát toàn bộ điểm bể để xác định (n, k). Trong bài báo tác giả đề xuất sử dụng mô hình hệ thống suy luận mờ (HSM) ước lượng hai hệ số (n, k) trên cơ sở các số liệu khảo sát thực tế về lưu lượng và áp suất dòng chảy rò rỉ. Mô hình HSM được kiểm chứng trên mô hình thuỷ lực MLCN DMA15 quận Gò Vập, TP.HCM từ đó đưa ra phương trình xác định lưu lượng nước rò rỉ cho MLCN này.

Từ khóa: Lưu lượng nước rò rỉ; áp lực; mạng lưới cấp nước; thất thoát nước; logic mờ; MATLAB.

# ABSTRACT:

The leakage flow rate on the water supply network is the function of pressure in the pipes, leakage exponent factors (n), and leakage coefficient (k). These factors are the properties of leakage flow such as section area, flow slope, or the soil environment outside. Each leak has its characteristics, so it is difficult to determine (n, k) for all the leaks. In this paper, the author using the fuzzy inference system model (HSM) to estimate two coefficients (n, k). The results of the HSM model were verified on the hydraulic model of the DMA15 Go Vap district Ho Chi Minh city water supply network and proposed the equation of the leakage for the research area.

**Keywords:** Leakage flow rate; pressure; water supply network; leakage; fuzzy; MATLAB.

# 1. GIỚI THIỆU

Thất thoát nước trên mạng lưới cấp nước có ảnh hưởng trực tiếp tới doanh thu của công ty cấp nước. Bên cạnh đó, trong trường hợp thất thoát nước hữu hình (rò rỉ nước trên mạng lưới) còn dẫn đến nguy cơ chất ô nhiễm từ bên ngoài đi vào trong ống cấp nước, sẽ tác động tới sức khoẻ của người sử dụng. Vậy nên, mục tiêu giảm thất thoát nước hữu hình trên mạng lưới cấp nước (MLCN) luôn được đưa vào trong kế hoạch hoạt động hàng năm của các công ty cấp nước.

Hiệp hội nước quốc tế (IWA - International Water Association) đã đưa ra 3 loại nước thất thoát không doanh thu trên mạng lưới cấp nước (M. Farley và cộng sự, 2003), loại 1 là tiêu thụ hợp pháp không có hoá đơn (súc xả tuyến ống, nước chữa cháy, tưới cây rửa đường,...), loại 2 là các thất thoát thương mại (lỗi đồng hồ đo đếm, nhập liệu sai, quy trình hoạt động chưa đúng,....) và cuối cùng là thất thoát cơ học (hữu hình). Thất thoát loại 1 và loại 2 được quản lý bằng các quy định, chính sách sẽ mang lại hiệu quả cao hơn là các công cu kỹ thuật. Trong nghiên cứu này sẽ đề cập tới thất thoát loại 3 (sau đây gọi tắt là thất thoát), là lượng nước rò rỉ trên mang lưới cấp nước qua vi trí nứt, bể trên ống hay tai các phu tùng nối ống, các thiết bị. Số lượng điểm rò rỉ tỉ lệ thuận với lượng nước thất thoát, trong khi độ bền của mạng lưới đường ống sẽ giảm theo thời gian làm việc nên khả năng xuất hiện các điểm rò rỉ ngày càng tăng, như vậy để giảm tỉ lê thất thoát hàng năm cần có một hướng tiếp cận phù hợp mới đạt được mục tiêu này.

Một số tác giả sử dụng mô hình toán học để xem xét mối tương quan giữa lưu lượng rò rỉ và áp lực làm việc của đường ống cấp nước. Tác giả Wu và cộng sự (2013) đã đề xuất phương pháp tính toán mô phỏng rò rỉ dưa trên mô hình tính toán thủy lực EPANET, kết quả tính toán cho thấy khi áp lực nước nguồn cấp của đồng hồ tổng (DMA - District Meter Area) giảm, lương tiêu thu nước và lưu lương rò rỉ cũng giảm với một tỷ lê tương ứng. Paola và cộng sự (2012) nghiên cứu mô hình thí nghiệm nhằm xây dựng mối quan hệ giữa áp lực nước và lưu lượng rò rỉ. Các nghiên cứu cho thấy quan hệ giữa khu vực rò rỉ và giá tri áp lực trên mang lưới là tuyến tính. Trên cơ sở này, các công ty cấp nước ở Việt Nam hiện nay vẫn đang ước lượng giá tri áp lực làm việc của mang lưới theo kinh nghiêm để giảm thiểu lưu lượng rò rỉ. Tuy nhiên, chế đô làm việc của các mang lưới là khác nhau và phu thuộc nhiều vào nhu cầu tiêu thu nước, vây nên cần thiết phải nghiên cứu xác đinh hê số dòng chảy rò rỉ từ đó đưa ra phương trình lưu lượng rò rỉ dưa trên khoảng áp lực làm việc thực tế của từng mạng lưới cấp nước.

# 2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH PHƯƠNG TRÌNH LƯU LƯỢNG NƯỚC RÒ RỈ

Xác định đặc điểm của dòng chảy rò rỉ các nghiên cứu thường sử dụng mô hình toán (Ö. Ekmekcioğlu và nnk., 2020) và mô hình thí nghiệm (Yu Shao và nnk., 2019) tuy nhiên, các mô phỏng lại dựa trên phương trình (1) trong Bảng 1, đây là phương trình áp dụng trong điều kiện dòng chảy qua lỗ ra ngoài khi trời (Andrew Chadwick và nnk., 2013) nên giá trị của hệ số lưu lượng C<sub>d</sub> chỉ có ý nghĩa trong phạm vi lý thuyết.

Phương trình (2) (Bảng 1) được áp dụng trong thí nghiệm xem xét dòng chảy đi qua điểm bể trên những đoạn ống ngắn có vật liệu khác nhau của tác giả JE van Zyl (JE van Zyl và nnk., 2017). Nghiên cứu đã chỉ ra rằng dòng chảy rò rỉ đi qua điểm bể sẽ làm Bảna 1 Phươna trình lưu lươna dòna chảy rò rỉ biến dạng điểm bể và hình dạng dòng chảy phụ thuộc vào áp lực nước trong ống, môi trường đất ngoài cũng như diện tích lỗ rò rỉ. Tuy nhiên, trên MLCN thực tế rất khó để xác định tiết diện điểm bể (A) cũng như môi trường đất bên ngoài ống (m), như vậy cần một công thức đơn giản hơn để xác định hệ số dòng chảy rò rỉ.

Tác giả Thornton tổng hợp số liệu từ các nghiên cứu và sử dụng phương trình (3) để xác định hệ số mũ rò rỉ (n) tại một điểm bể trên MLCN (Thornton và nnk.,2020). Vì chỉ đánh giá sự thay đổi của lưu lượng/áp lực tại một điểm bể nên hệ số dòng chảy rò rỉ (Cd) không được xét tới trong phương trình (3). Mô hình có khả năng áp dụng cho MLCN thực tế nhưng cần mở rộng cho tất cả các điểm bể trên mạng lưới và nghiên cứu thêm khoảng giá trị hệ số dòng chảy rò rỉ.

| $Q = C_d A \sqrt{2gh_0} $ (1)          | $Q = C_{d}A_{\sqrt{2g}} \left(A_{0}h^{0,5} + mh_{0}^{1,5}\right) $ (2) | $L_1/L_0 = (P_1/P_0)^n$ (3)                                       |  |  |  |  |
|--|--|---|--|--|--|--|
| - C₄ là hệ số lưu lượng;               | với $A = A_0 + mh$   | - P <sub>0</sub> , L <sub>0</sub> là áp lực và lưu lượng tại thời |  |  |  |  |
| - A là diên tích lỗ rò rỉ;             | - A₀ là diên tích ban đầu của điểm bể;                                 | điểm ban đầu  |  |  |  |  |
| - g là gia tốc trọng trường;           | - A là diện tích điểm bể khi dòng chảy đi qua;                         | - P1, L1 là áp lực và lưu lượng sau khi                           |  |  |  |  |
| - h₀ là giá trị cột áp.                | - m là độ dốc dòng chảy có áp.   | giảm áp lực.  |  |  |  |  |
| (JE van Zyl và nnk., 2014) (Yu Shao và | (JE van Zyl và nnk., 2017)   | - n là hệ số mũ rò rỉ.  |  |  |  |  |
| nnk., 2019)                            |  | (Thornton và nnk.,2020)   |  |  |  |  |

Tổng hợp kết quả của các nghiên cứu cho thấy:

- Hệ số mũ rò rỉ (n) dao động từ -0,262 đến 3,33. Nghiên cứu thí nghiệm của tác giả JE van Zyl (JE van Zyl và nnk., 2017) cho dòng chảy rò rỉ chảy ra ngoài khí trời, lúc này điều kiện môi trường khác hoàn toàn so với điều kiện làm việc của ống cấp nước thực tế nên xuất hiện n<0. Giá trị n lớn nhất là 3,33 trong nghiên cứu của tác giả M.Deyi (M.Deyi và nnk., 2014) vì tác giả đưa ra khoảng áp lực thay đổi tương đối lớn (từ 26,9m đến 99,2 m).

- Hệ số dòng chảy (Cd) nhận giá trị từ 0 đến 0,945.

Qua các phân tích trên tác giả đưa mục tiêu nghiên cứu cụ thể như sau:

 Đề xuất một phương trình tổng quát hơn so với các công thức (1), (2) và (3) để xác định lưu lượng nước rò rỉ cho MLCN thực tế.

 - Khảo sát thực tế để lấy dữ liệu lưu lượng và áp lực rò rỉ trên MLCN để xác định khoảng giá trị của hệ số dòng chảy rò rỉ theo các yếu tố của dòng chảy rò rỉ.

 Sử dụng lý thuyết logic mờ và phần mềm MATLAB để xây dụng mô hình ước lượng hệ số dòng chảy rò rỉ và đưa ra phương trình lưu lượng nước rò rỉ. Áp dụng cho khu vực nghiên cứu là MLCN DMA15, quận Gò Vấp, TP.HCM.

# 3. GIỚI THIỆU LÝ THUYẾT LOGIC MỜ VÀ PHẦN MỀM MATLAB 3.1. Lý thuyết logic mờ

Trong lý thuyết logic cổ điển thường sử dụng xác suất để xác định khả năng xuất hiện một biến cố có xảy ra hoặc không xảy ra. Tuy nhiên, thực tế có rất nhiều các thông tin không chắc chắn trong đó các đối tượng có nhiều hơn hai trạng thái để đánh giá. Vậy nên, năm 1965 giáo sư Lotfi Zadeh trường đại học California - Mỹ đã đề ra lý thuyết mờ và nhanh chóng được ứng dụng rộng rãi trong các nghiên cứu. Lý thuyết được dùng để đánh giá các thông tin không rõ ràng bằng các tập hợp mờ, hàm thuộc và logic mờ. Tập mờ được phát triển từ khái niệm tập hợp cơ bản được phát biểu như sau: "Tập mờ A trong miền xác định U với các giá trị u thuộc rủa phần tử u thuộc về tập mờ A".

#### 3.2. Phần mềm MATLAB và công cụ thiết kế mô hình

MATLAB là phần mềm dùng ngôn ngữ lập trình để xử lý số liệu và biểu diễn đồ họa chính xác trong không gian 2 chiều cũng như 3 chiều. Công cụ logic mờ (Fuzzy Logic Designer - FLD) và SIMULINK là tổ hợp các hàm được xây dựng trên nền MATLAB và phát triển thành ToolBox của phần mềm giúp việc thiết kế, mô phỏng dễ dàng hơn, giảm được thời gian tính toán cũng như tăng tính tin cậy của kết quả.

# 4. PHƯƠNG PHÁP ƯỚC LƯỢNG HỆ SỐ CHO PHƯƠNG TRÌNH LƯU LƯỢNG NƯỚC RÒ RỈ TRÊN MLCN

#### 4.1. Phương trình xác định lưu lượng nước rò rỉ trên MLCN

Trong lý thuyết phần mềm WaterGEMS (Bentley, 2019) đưa ra công thức xác định lưu lượng nước rò rỉ tại điểm bể theo áp lực làm việc của ống như sau:

 $Q = k.P^n$ 

(4)

Trong đó: - Q là lưu lượng điểm rò rỉ - k là hệ số rò rỉ phụ thuộc vào đặc điểm của nút rò rỉ.

- P áp lực tại điểm rò rỉ.

- n là hệ số mũ và được mặc định giống nhau cho tất cả các nút rò rỉ .

Hệ số k và n được chương trình để mở cho người sử dụng có thể chủ động đưa ra các giá trị phù hợp nhất với mô hình và k có tính đến tiết diện lỗ, độ dốc dòng chảy rò rỉ và tổn thất năng lượng dòng chảy qua lỗ rò rỉ. Phương trình (4) cho thấy đặc điểm của dòng chảy rò rỉ được xác định bởi 4 yếu tố là áp lực P, lưu lượng dòng chảy Q, hệ số mũ n và hệ số dòng chảy k, để áp dụng công thức cho các điểm bể trên MLCN thực tế cần xác định hệ số n v.

#### 4.2. Mô hình Hệ thống Suy luận Mờ hệ số n và k (HSM)

Mô hình Hệ thống Suy luận Mờ (sau đây gọi tắt là HSM) với hai biến đầu vào P và Q và hai biến đầu ra n và k được phát triển trên cơ sở lý thuyết logic mờ. Cấu trúc mô hình HSM (Hình 1) bao gồm phần chuẩn bị thông số và chạy mô hình xuất kết quả.

**Miền xác định của tập mờ P, Q, n, k:** Thực hiện khảo sát số liệu P và Q trên MLCN kết hợp với các quy định hiện hành để xác định khoảng giá trị của hai yếu tố này. Trên cơ sở kế thừa khoảng giá trị n của các nghiên cứu trước nghiên cứu thiết lập ba tập hợp có giá trị tăng dần là ni, Pj, Qm với i=1:a ; j=1: b và m=1:c. Như vậy các giá trị có thể có của k sẽ lần lượt xuất hiện qua các các bước lặp như trong sơ đồ Hình 2.



#### Hình 1 Cấu trúc mô hình HSM

Mô hình HSM có các biến vào và biến ra là các số thực nhưng không có mối liên hệ toán học nên cần một bộ xử lý số liệu trung gian để mờ hóa ngõ vào thành các tập mờ trong các miền xác định, từ đó sử dụng các luật mờ, luật suy diễn xấp xỉ để xác định giá trị biến ra. Các yếu tố đầu vào (P, Q) và đầu ra (n, k) của mô hình HSM là các tập mờ có miền xác định từ Thấp - Trung bình - Cao - Rất cao. Suy luận mờ bao gồm các luật mờ xác định theo phương pháp cực đại cực tiểu. Mô hình HSM xây dựng bằng công cụ FLD và SIMULINK trong phần mềm MATLAB.



Hình 2 Xác định giá trị của k theo P, Q, n.

#### 4.3. Quy trình ước lượng hệ số cho phương trình lưu lượng nước rò rỉ trên MLCN

Các bước ước lượng hệ số cho phương trình lưu lượng nước rò rỉ như Hình 3:

1. Khảo sát lưu lượng và áp lực (P,Q) tại các điểm bể.

2. Nhập các giá trị khảo sát vào mô hình HSM và chạy mô hình.

 Xuất kết quả mô hình là hệ số n và k tương ứng với từng điểm bể.

4. Kiểm chứng kết quả trên mô hình thuỷ lực của MLCN đã khảo sát.

5. So sánh kết quả mô hình thuỷ lực với số liệu từ cảm biến áp lực và đồng hồ tổng đặt trên MLCN. Nếu kết quả đưa ra phù hợp với số liệu thực tế thì đề xuất phương trình lưu lượng nước rò rỉ cho MLCN đã khảo sát. Nếu không phù hợp thì điều chỉnh lại tập mờ và luật mờ trong mô hình HSM và lặp lại từ bước 2 đến bước 5.

|                                | trên MLCN  |  |  |
|--------------------------------|--|--|--|
|                                | V  |  |  |
| Điều chỉnh<br>tập mờ; luật mờ  | Mô hình HSM  |  |  |
| <u>A</u>                       | V  |  |  |
| Không phù hợp                  | Giá trị (n,k) các điểm bể<br>trên MLCN                                 |  |  |
|                                | V  |  |  |
| So sánh với số<br>liệu thực tế | Kiểm chứng trên mô hình<br>thuỷ lực MLCN đã khảo sát                   |  |  |
|                                | Dà mất nhương trình  |  |  |
| Phù hợp                        | <ul> <li>lưu lượng nước rò ri cho</li> <li>MLCN đã khảo sát</li> </ul> |  |  |

Khảo sát giá trị rò rỉ (P, Q)

Hình 3 Quy trình ước lượng hệ số cho phương trình lưu lượng nước rò rỉ

# 5. ÁP DỤNG CHO MẠNG LƯỚI CẤP NƯỚC DMA15 THUỘC PHƯỜNG 15 QUẬN GÒ VẤP

### 5.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Công ty cổ phần cấp nước Trung An thuộc Tổng Công ty cấp nước Sài Gòn quản lý cấp nước cho quận Gò Vấp (trừ phường 1), quận 12 và huyện Hóc Môn. Mạng lưới được chia thành các khu vực cấp nước - DMA, trong đó có DMA15 (Hình 4) thuộc phường 15 quận Gò Vấp (sau đây gọi tắt là DMA15) cũng là một trong những khu vực quản lí của công ty. DMA15 có tổng chiều dài mạng lưới là 14.850m trong đó ống lớn nhất đường kính 200mm (màu đỏ) dẫn nước từ nguồn tới các ống đường kính 50-150mm (màu tẩn, màu xanh ngọc). Một điểm đo áp được lắp cố định ở cuối mạng (LOGGER) và một đồng hồ tổng ở đầu mạng (NGUON D200). Điểm bể trong Hình 4 là các điểm màu xanh nước biển và màu đỏ. Trong năm 2020, thực hiện khảo sát trên các ống nhánh có đường kính từ 50mm - 150mm của DMA15, với những ống có đường kính lớn hơn thì xác suất xảy ra bể nhỏ hơn nên không nằm trong kế hoạch khảo sát.



## Hình 4 Mô hình thuỷ lực mạng lưới cấp nước DMA15- quận Gò Vấp 5.2. Thiết lập mô hình HSM cho DMA15 - Thiết kế tập mờ và miền xác định của tập mờ

Áp lực rò rỉ (P): Theo TCXDVN 33-2006 của (Bộ Xây dựng, 2006) quy định thì áp lực nước cấp trên mạng lưới dao động từ 10m-40m tuy nhiên tổng hợp dữ liệu cảm biến đo áp trên DMA15 cho thấy áp lực trên mạng lưới dao động từ 10m-30m trong một số giờ cao điểm khi nhu cầu tiêu thụ tăng cao mà công suất của mạng lưới chưa đáp ứng đủ thì tại một số khu vực vẫn xảy ra trường hợp áp lực nước từ 0 -10m.

Lưu lượng nước rò rỉ (Q): Đến tháng 5/2020, trên DMA15 có tất cả 33 điểm bể nằm rải rác trên toàn mạng lưới với lưu lượng nước rò rỉ trung bình tại một điểm bể trong khoảng từ 0,1 đến 0,4 m³/h, giá trị rò rỉ nhỏ nhất và lớn nhất mà nhóm khảo sát ghi nhận tương ứng là 0,0001 và 1,2 m³/h, tuy nhiên tần suất xuất hiện của giá trị 1,2 m³/h không lớn bằng giá trị 0,8 m³/h.

Miền xác định của hệ số (n): Theo các nghiên cứu trước đây hệ số mũ n nằm trong khoảng từ 0,5 đến 3,33 (J. Schwaller và cộng sự, 2015), kế thừa kết quả này tác giả đánh giá định tính giá trị n nằm trong khoảng từ 0,5 đến 3,5 cho khu vực nghiên cứu.

Miền xác định hệ số (k): Xét trong điều kiện của MLCN khu vực phía bắc TP.HCM thì giá trị của ba biến số P, Q, n lần lượt nằm trong khoảng xác định U<sub>1</sub> = [0 30]; U<sub>2</sub> = [0,0001 1,2] và U<sub>3</sub> = [0,5 3,5]. Thực hiện các bước lặp như Hình 2, lập trình hàm for trong phần mềm MATLAB cho giá trị k biến thiên trong khoảng từ 0 đến 0,53.

Bảng 2 Kí hiệu tập mờ của các biến vào và biến ra trong mô hình HSM

| Biến<br>số | Khoảng<br>giá trị | Tập mờ A và miền xác định [U] |                         |                          |                 |
|------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|
|            |                   | Thấp                          | Trung bình              | Cao                      | Rất Cao         |
| Р          | [0 30]            | L <sub>P</sub> [5 10]         | M <sub>P</sub> [10 20]  | H <sub>P</sub> [20 30]   | -               |
| Q          | [0,0001 1,2]      | L <sub>Q</sub> [0,00010,4]    | M <sub>Q</sub> [0,10,4] | H <sub>Q</sub> [0,4 0,8] | -               |
| n          | [0,5 3,5]         | $L_n = 0,5$                   | $M_n = 1.5$             | $H_n = 2,5$              | $VH_n = 3,5$    |
| k          | [0 0,53]          | $L_k = 0$                     | $M_k = 0,01$            | $H_k = 0,3$              | $VH_{k} = 0,53$ |

Giá trị của bốn biến số được chia thành các tập mờ dạng Thấp (Low-L), Trung bình (Medium-M), Cao (High-H) hoặc Rất Cao (Very High-VH) như trong Bảng 2.



Hình 5 Giao diện công cụ FLD



Hình 6 Giao diện công cụ SIMULINK

- Công cụ FLD: Từ các 3 tập mờ yếu tố áp lực P, 3 tập mờ yếu tố lưu lượng Q thì tổng số luật mờ là 3 x 3 = 9 luật mờ. Các luật mờ là cơ sở để ra quyết định cho biến ngõ ra n và k vậy nên thiết lập luật mờ tốt thì kết quả đưa ra sẽ có độ chính xác cao. Thiết lập luật mờ trong công cụ FLD (Hình 5) ở dạng nguyên nhân - kết quả "Nếu...và....Thì".

- Công cụ SIMULINK được sử dụng để thiết kế hệ thống vận hành mô hình, xây dựng các khối xử lý trong mô hình như Hình 6. Thông qua giao diện người sử dụng đồ họa (GUI) lựa chọn các khối nguồn, khối tải và tích hợp mô hình HSM bằng khối xử lý Logic mờ (Fuzzy Logic Controller) sau đó tiến hành nhập dữ liệu và chạy cho hệ thống hiển thị kết quả đầu ra. Mô hình HSM xây dựng gồm có bốn phần chính là nguồn, nhận tín hiệu, xử lý số liệu và hiển thị kết quả tương ứng với các khối chức năng trong SIMULINK.

## 5.3. Kiểm định mô hình và đề xuất phương trình lưu lượng nước rò rỉ

Kết quả mô hình HSM là hệ số n trung bình và 33 hệ số k, các giá trị này được đưa vào 33 nút bể trên mô hình thuỷ lực. Tổng lưu lượng nước rò rỉ trên mô hình sẽ bằng lưu lượng cấp vào trừ đi tổng lưu lượng tiêu thụ tại nút. Lưu lượng nút là giá trị cố định được xác định dựa trên đồng hồ khách hàng, như vậy lưu lượng rò rỉ sẽ thay đổi theo lưu lượng nút nguồn. Bên cạnh đó, áp lực nước trên mạng lưới cũng phụ thuộc vào áp lực nút nguồn, vậy nên chỉ cần kiểm chứng giá trị áp lực tại một nút bất kì trên mạng lưới.

Kiểm định mô hình là xác định sự phù hợp giữa kết quả mô hình thuỷ lực và số liệu đo đạc thực tế. Giá trị lựa chọn để kiểm định là lưu lượng nước vào mạng lưới (Nguồn D200 trong Hình 4) và áp lực đo được tại nút cuối mạng lưới (vị trí LOGGER trong Hình 4), tác giả so sánh giữa số liệu thực đo trong 7 ngày và kết quả mô phỏng của mô hình thuỷ lực. Nếu kết quả mô phỏng và giá trị thực tế có tương quan cao thì kết luận giá trị n, k nhập vào nút rò rỉ là phù hợp.

Dữ liệu lưu lượng đồng hồ tổng và áp lực tại nút cuối mạng được ghi nhận liên tục trong 1 tuần từ ngày 5/10/2020 đến ngày 11/10/2020 (Hình 7), trong Hình 8 các dữ liệu này lần lượt được kí hiệu từ Q5/10 đến Q11/10 và P5/10 đến P11/10. Mô hình HSM đưa ra giá trị trung bình của n = 0,71 và hệ số k trung bình cho 33 điểm bể nằm trong khoảng từ 0,03 đến 0,09. Nhập các giá trị này vào mô hình thuỷ lực DMA15, kết quả mô phỏng là các giá trị lưu lượng tại nguồn là Qnk và áp lực tại nút cuối MLCN là Pnk.



Hình 7 Dữ liệu lưu lượng và áp lực thực đo trên DMA15



Hình 8 So sánh tương quan giữa kết quả mô hình và số liêu thực đo

Xác định hệ số tương quan Pearson (R) giữa cặp số liệu (Qnk, Pnk) và số liệu thực đo trên DMA15 bằng phần mềm RStudio cho kết quả như Hình 8. Trong chuỗi số liệu thực đo (Hình 8) thì ngày 10/10/2020 có diễn biến áp lực và lưu lượng khác với các ngày còn lại, khi so sánh tương quan số liệu này cũng có R rất nhỏ (từ 0,52 đến 0,74), vậy nên số liệu này sẽ không sử dụng để đánh giá kết quả mô hình thuỷ lực. Khi R từ 0,7 đến 0,9 thì số liệu có mối liên hệ chặt chẽ (A.G.Asuero và cộng sự, 2006), như vậy cặp số liệu (Qnk, Pnk) so với dữ liệu thực đo trong 6 ngày đều lớn hơn 0,78 có thể kết luận kết quả mô hình thuỷ lực là hoàn toàn phù hợp. Điều này có nghĩa là các hệ số (n, k) đưa vào mô hình thuỷ lực đã mô phỏng đúng giá trị lưu lượng và áp lực nước rò rỉ trên mạng lưới. Như vậy mối quan hệ giữa áp suất và lưu lượng nước rò rỉ trên DMA15 biểu diễn bằng phương trình sau:

Q = k x P<sup>0,71</sup> [m<sup>3</sup>/h] với k = 0,03 : 0,09

#### 6. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Phương trình lưu lượng rò rỉ trên MLCN (Q) bao gồm ba biến số đó là áp lực nước tại điểm bể (P), hệ số mũ (n) và hệ số dòng chảy (k). Biến số P được xác định từ số liệu của cảm biến áp lực của MLCN, hai biến số (n, k) chỉ có thể xác định từ thực tế hoặc dựa trên các mô hình số.

Áp dụng lý thuyết logic mờ và các công cụ trong phần mềm MATLAB tác giả đã xây dựng mô hình HSM, kết quả mô hình đưa ra giá trị (n, k) cho các điểm bể từ số liệu khảo sát sơ bộ về P và Q trên MLCN DMA15 quận Gò Vấp, TP.HCM. Kết hợp phần mềm mô phỏng thuỷ lực và phần mềm RStudio, nghiên cứu đã đưa ra quy trình gồm năm bước để xây dựng công thức tính lưu lượng rò rỉ theo áp suất cho một MLCN thực tế. Kiểm chứng kết quả mô hình HSM trên mô hình thuỷ lực của MLCN đã khảo sát, sử dụng hệ số tương quan R<sup>2</sup> đánh giá số liệu đo được từ MLCN thực tế và kết quả mô phỏng trên mô hình thuỷ lực cho thấy có mức độ tương quan cao (R<sup>2</sup> > 0,78). Từ đó kết luận phương trình lưu lượng nước rò rỉ cho các điểm bể trên MLCN DMA15, phương trình này cũng có thể áp dụng cho các mạng lưới có điều kiện hoạt động tương tự.

Trong quá trình khảo sát lưu lượng điểm rò rỉ do hạn chế về số lượng thiết bị quan sát, không thể theo dõi toàn bộ các điểm rò rỉ trong cùng một thời gian và số điểm rò rỉ cũng không phát hiện cùng một lúc trong khi kiểm chứng trên mô hình thuỷ lực lại xác định tại một thời điểm (ghi nhận tổng số điểm rò rỉ). Các nghiên cứu tiếp theo có thể xem xét phạm vi nghiên cứu trên một tuyến ống hoặc chia các giai đoạn mô phỏng thuỷ lực theo thời gian xuất hiện điểm rò rỉ. Kết quả nghiên cứu là bước đầu tạo tiền đề cho việc mô phỏng các kịch bản điều chỉnh lưu lượng nước thất thoát theo áp lực đầu vào mạng lưới. Qua việc kiểm soát áp lực nước cung cấp có thể xây dựng kế hoạch giảm thất thoát nước trong MLCN.

#### TÀI LIÊU THAM KHẢO

[1] Bộ Xây dựng, (2006). "TCXDVN 33-2006 Cấp nước - Mạng lưới đường ống và công trình tiêu chuẩn thiết kế", Hà Nội.

[2] Tổng Công ty cấp nước Sài Gòn, (2014), "Chương trình ứng dụng khoa học công nghệ vào hoạt động sản xuất - kinh doanh tại tổng công ty cấp nước Sài Gòn giai đoạn 2014-2025", TP.HCM.

[3] Andrew Chadwick, John Morfett and Martin Borthwick, (2013), "Hydraulics in civil and environmental engineering", *Taylor & Francis Group*, USA, 54

[4] Bentley, (2019). "Bentley WaterGEMS V8i User's Guide", *Bentley WaterGEMS CONNECT Edition Help*.

[5] Van Zyl, J.E., Cassa, A.M. (2014) "Modeling elastically deforming leaks in water distribution pipes", *Journal of Hydraulic Engineering*, 140 (2) 182 – 189.

[6] J. E. van Zyl and R. Maldeb, (2017), "Evaluating the pressure-leakage behaviour of leaks in water pipes", *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, IWA Publishing, 66 (5): 287–299.

[7] J. Thornton, A. Lambert, (2005), "Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships", *Conference Proceeding of leakage Halifax*, Canada.

[8] Lambert, A. O. (2002). "Water losses management and techniques". *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(4), 1–20.

[9] M. Deyia, J. van Zyla, M. Shepherdb, (2014), "Applying the FAVAD Concept and Leakage Number to Real Networks: a Case Study In Kwadabeka, South Africa", *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 89 (2014) 1537 - 1544.

[10] M. Farley, S. Trow, (2003), "Losses in Water Distribution Networks", *IWA Publishing*, London.

[11] Ömer Ekmekcioğlu, Eyyup Ensar BAŞAKIN, Mehmet ÖZGER, (2020), "Discharge coefficient equation to calculate the leakage from pipe networks", *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3): 1737-1746.

[12] Yu Shao, Tian Yao, Jinzhe Gong, Jinjie Liu, Tuqiao Zhang and Tingchao Yu, (2019), "Impact of Main Pipe Flow Velocity on Leakage and Intrusion Flow: An Experimental Study", *Journal Water*, MDPI, 11, 118.