■Ngày nhận bài: 10/4/2026 ■Ngày sửa bài: 22/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 08/5/2026

Ứng dụng công nghệ tích hợp SONIC - IOT - AI trong phát hiện rò rỉ trên mạng lưới cấp nước

Application of integrated SONIC - IOT - AI technology for leak detection in water supply networks

> GS.TS NGUYỄN VIỆT ANH[1,*], KS VÕ DUY QUÝ[2], KS NGUYỄN THANH SƠN[3], KS NGUYỄN HOÀNG VIỆT[4]
[1]Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường (IESE), Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
[2]AIwaterX Technology Co., Ltd
[3]Công ty CP Kinh doanh Nước sạch Hải Dương
[4]Công ty CP Nước sạch số 2 Hà Nội
[*]Email: anhnv@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả ứng dụng công nghệ tích hợp Sonic - IoT - AI (Wi.Plat) trong phát hiện rò rỉ trên mạng lưới cấp nước. Nghiên cứu được triển khai tại Công ty CP Kinh doanh Nước sạch Hải Dương và Công ty CP Nước sạch số 2 Hà Nội. Dữ liệu âm học được thu thập tại hiện trường, truyền qua nền tảng điện toán đám mây để phân tích bằng trí tuệ nhân tạo (AI), từ đó xác định các vị trí nghi ngờ rò rỉ và hỗ trợ kiểm tra hiện trường. Kết quả cho thấy, tại Hải Dương, trong 2 tháng, công nghệ đã hỗ trợ phát hiện 14 điểm rò rỉ, góp phần giảm tỷ lệ thất thoát nước ở khu vực nghiên cứu từ 11,6% xuống 10,1% tại DMA 03 và từ 11,2% xuống 8,8% tại DMA 16. Tại Hà Nội, tỷ lệ thất thoát nước tại khu vực nghiên cứu giảm từ 16,2% xuống còn 7,9%, tương ứng tiết kiệm khoảng 5.750 m^3 nước mỗi tháng. Kết quả nghiên cứu khẳng định tính hiệu quả và khả thi của công nghệ Sonic - IoT - AI trong phát hiện rò rỉ và quản lý nước không doanh thu (NRW).

Từ khóa: AI; chống thất thoát nước; công nghệ thông minh; phát hiện rò rỉ; Wi.Plat.

ABSTRACT

This paper presents the results of applying integrated Sonic - IoT - AI technology, namely Wi.Plat, for leak detection in water supply networks. The study was conducted at Hai Duong Water Company and Hanoi No. 2 Water Company. Acoustic data were collected in the field and transmitted via a cloud-computing platform for analysis using artificial intelligence (AI), thereby identifying suspected leak locations and supporting field verification.

The results show that in Hai Duong, over a two-month period, the technology supported the detection of 14 leak points, contributing to a reduction in water loss from 11.6% to 10.1% in study area DMA 03 and from 11.2% to 8.8% in DMA 16. In Hanoi, the water loss rate in the study area decreased from 16.2% to 7.9%, corresponding to saving of 5,750 m^3 of water per month, approximately.

The findings confirm the effectiveness and feasibility of Sonic - IoT - AI technology in leak detection and non-revenue water management.

Keywords: AI; leak detection; smart technology; water loss reduction; Wi.Plat.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nước sạch là một sản phẩm thiết yếu đối với cộng đồng. Đảm bảo cấp nước đầy đủ, liên tục, với lưu lượng, áp lực cần thiết, chất lượng đáp ứng quy chuẩn quốc gia tới khách hàng, đồng thời đảm bảo sản xuất kinh doanh hiệu quả, bền vững là mục tiêu hướng tới của mỗi doanh nghiệp cấp nước. Trong đó, giảm thất thoát, thất thu nước trong hệ thống cấp nước là một nội dung rất quan trọng. Với nhiều cố gắng, tỷ lệ nước không doanh thu ở các đô thị Việt Nam hiện nay trung bình là 17% [1]. Với tổng công suất cấp nước đô thị mỗi ngày là 12 triệu m^3, chỉ tính theo đơn giá nước sinh hoạt, mỗi ngày ngành Nước đã tổn thất ~20,4 tỷ đồng, mỗi năm tổn thất gần 7.500 tỷ đồng hay 300 triệu USD. Chỉ cần giảm được tỷ lệ nước không doanh thu 2%, đã cho phép tiết kiệm ít nhất 35 triệu USD mỗi năm.

Sức ép của nhu cầu cải tiến, đổi mới công nghệ, giảm tỷ lệ nước thất thoát và nâng cao chất lượng dịch vụ, mở rộng phạm vi phục vụ, trong khi mạng lưới cấp nước ở nhiều nơi còn chắp vá, cũ nát, được lắp đặt bằng nhiều loại vật liệu ống và phụ tùng có kích cỡ, chất lượng vật liệu, chất lượng thi công khác nhau, công tác quản lý hoạt động xây dựng và bảo vệ đường ống, công trình cấp nước còn yếu kém, trình độ dân trí ở nhiều nơi còn hạn chế, là những thách thức mà các doanh nghiệp cấp nước hiện đang phải vượt qua. Hầu hết các doanh nghiệp cấp nước đều rất quan tâm đầu tư cho hoạt động chống thất thoát nước. Việc áp dụng các công nghệ mới, thông minh, cho phép phát hiện kịp thời, chính xác điểm rò rỉ với nguồn lực phù hợp để có thể can thiệp, khắc phục sớm, với chi phí hợp lý, là một trong những giải pháp mà nhiều doanh nghiệp tìm kiếm [2], [3].

Phương pháp kiểm soát rò rỉ phổ biến nhất là phân vùng mạng lưới cấp nước thành các khu vực quản lý lưu lượng hay còn gọi là Khu vực đồng hồ tổng (District Metered Area - DMA) để theo dõi lưu lượng ban đêm và phát hiện bất thường. Sau khi xác định khu vực nghi ngờ, các thiết bị như tiền định vị (leak noise logger), tương quan âm (correlator) và khuếch đại âm (ground microphone) được sử dụng để khoanh vùng và xác định chính xác vị trí rò rỉ [4].

Một số nơi áp dụng giải pháp phân tích áp lực quá độ (Transient Analysis), sử dụng sóng âm truyền tải với tần số cao và số lượng dữ liệu rất lớn để phân tích và dự đoán khả năng điểm rò rỉ trên đường ống. Phương pháp này kết hợp cả việc đánh giá tình trạng "sức khỏe" của đường ống, khi dữ liệu có thể giúp phân tích được sự thay đổi bề dày thành ống (0,2 mm), từ đó cảnh báo khả năng rò rỉ trong tương lai, không phải chỉ dò tìm hiện tại.

Công nghệ vệ tinh quan sát mặt đất, sử dụng radar khẩu độ tổng hợp (SAR) trong việc quét bề mặt thông qua việc phát sóng vi ba và thu hồi phản xạ, kết hợp phân tích học máy để phân vùng rò rỉ, giúp công tác tiếp cận khu vực có khả năng rò rỉ nhanh, triển khai các biện pháp dò tìm phù hợp ngay sau đó.

Giải pháp cảm biến âm học IoT: Đây là công nghệ được áp dụng phổ biến nhất hiện nay. Các cảm biến âm học (Acoustic Sensors hoặc Leak Noise Loggers) được lắp đặt tại van, họng cứu hỏa hoặc đồng hồ tổng để ghi nhận tín hiệu âm thanh phát sinh từ các điểm rò rỉ trên đường ống. Dữ liệu được truyền qua mạng IoT (NB-IoT, LTE-M, LoRaWAN hoặc 4G/5G) đến nền tảng đám mây để phân tích và phát hiện bất thường. Các giải pháp tiêu biểu như từ Gutterman (Thụy Sĩ), FIDO AI (Anh Quốc), Wiplat (Hàn Quốc), HWM (Anh Quốc), vonRoll (Thụy Sĩ),… Ưu điểm của giải pháp này là triển khai nhanh, chi phí hợp lý, phù hợp với mạng lưới phân phối đô thị và có khả năng giám sát liên tục 24 giờ/ngày, 7 ngày/tuần (24/7) [5].

Giải pháp giám sát lưu lượng và áp lực với IoT: Các cảm biến áp lực (Pressure Logger) và lưu lượng (Flow Meter) được lắp đặt tại các DMA (District Metered Areas) nhằm giám sát liên tục trạng thái vận hành của mạng lưới. Dữ liệu thời gian thực được truyền về hệ thống SCADA hoặc nền tảng IoT để phân tích xu hướng và phát hiện các dấu hiệu rò rỉ thông qua sự thay đổi bất thường của áp lực hoặc lưu lượng ban đêm. Các giải pháp tiêu biểu: Technolog Cello (Anh Quốc), Kamstrup (Đan Mạch), I2O (Anh Quốc),… Giải pháp này đặc biệt hiệu quả trong việc phát hiện rò rỉ lớn và hỗ trợ quản lý áp lực nhằm giảm thất thoát cơ học.

Giải pháp giám sát diện rộng, sử dụng AI và phân tích dữ liệu thông minh: Sự phát triển của AI cho phép phân tích đồng thời dữ liệu từ nhiều nguồn như âm thanh, áp lực, lưu lượng và dữ liệu khách hàng. Các thuật toán học máy (Machine Learning) và học sâu (Deep Learning) có khả năng nhận diện các mẫu bất thường, dự đoán nguy cơ rò rỉ và hỗ trợ ưu tiên sửa chữa. Một số nền tảng nổi bật gồm FIDO AI (Anh Quốc), TaKaDu (Israel), WI.Plat (Hàn Quốc),… Các hệ thống này giúp chuyển đổi từ mô hình phản ứng sau sự cố sang mô hình quản lý rò rỉ chủ động (Proactive Leakage Management).

Xu hướng hiện nay là tích hợp IoT, AI, GIS, mô hình thủy lực và Digital Twin để xây dựng hệ thống quản lý thất thoát nước thông minh theo thời gian thực. Các dữ liệu từ cảm biến hiện trường được thu thập liên tục, phân tích bằng AI và hiển thị trên các trung tâm điều hành mạng lưới cấp nước (Network Operation Center - NOC), giúp các đơn vị cấp nước nâng cao hiệu quả vận hành, giảm thất thoát và kéo dài tuổi thọ tài sản hạ tầng.

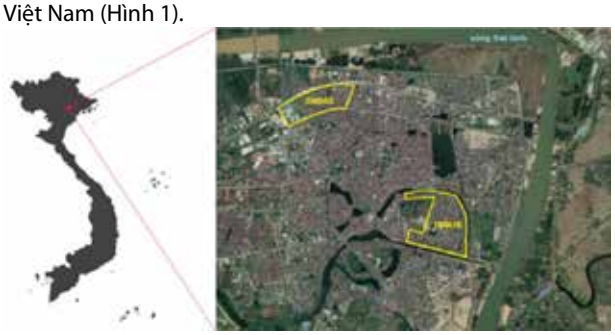
Hội Cấp thoát nước Việt Nam đã triển khai Dự án Chống thất thoát trong hệ thống cấp nước bằng giải pháp thông minh. Dự án do Viện Nguồn lực quốc tế (WRI) - Sáng kiến hợp tác vì phát triển xanh và các mục tiêu toàn cầu đến năm 2030 (P4G) tài trợ. Các đối tác chính của Dự án là Hội Cấp thoát nước Việt Nam (VWSA, chủ trì Dự án), Công ty CP Kinh doanh nước sạch Hải Dương, Công ty CP Tư vấn và Đầu tư Đô thị Việt (VUCICO), Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường (IESE), Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Công ty K-Water và Công ty Wi-Plat (Hàn Quốc, đơn vị chuyển giao công nghệ). Tiếp sau đó, Công ty CP Nước sạch số 2 Hà Nội cũng đã chủ động thử nghiệm công nghệ Wi.Plat kết hợp Sonic - IoT - AI.

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Mô tả thử nghiệm tại Hải Dương

Các DMA nghiên cứu được lựa chọn dựa trên các tiêu chí gồm: (1) có ranh giới thủy lực rõ ràng, được giám sát bằng đồng hồ tổng; (2) có tỷ lệ thất thoát nước trên 10%; (3) quy mô mạng lưới và số lượng khách hàng đủ lớn; (4) có đầy đủ dữ liệu vận hành phục vụ đánh giá hiệu quả của hệ thống phát hiện rò rỉ ứng dụng IoT và AI.

Địa điểm được lựa chọn để tiến hành nghiên cứu thử nghiệm là 2 khu dân cư thuộc TP Hải Dương, với 100% số hộ được cấp nước từ hệ thống cấp nước tập trung. 2 khu vực được quản lý bởi 2 DMA số 03 và số 16, đường kính 150 mm. Đồng hồ tổng của mỗi DMA cung cấp thông tin về lượng nước cấp vào khu vực. DMA 03 có tổng chiều dài tuyến ống 11,94 km, trong đó có 1,68 km ống HDPE D160 mạng phân phối và 10,26 km ống thép tráng kẽm đường kính 20 - 50 mm mạng dịch vụ. Số hộ tiêu thụ trong khu vực là 1.867, trong đó có 41 cơ quan và 1.826 hộ gia đình. Tỷ lệ thất thoát hiện tại của khu vực là 12,3%. DMA 16 có tổng chiều dài ống 23,8 km, gồm 19,98 km ống HDPE đường kính 32 - 160 mm và 3,82 km ống thép tráng kẽm đường kính 50 - 100 mm. Trong khu vực có 2.687 hộ tiêu thụ, gồm 28 cơ quan và 2.659 hộ gia đình. Tỷ lệ thất thoát hiện tại là 10,2%. Mạng lưới bao gồm nhiều loại vật liệu đường ống, như HDPE và thép tráng kẽm, phản ánh điều kiện thực tế của hệ thống cấp nước đô thị tại Việt Nam (Hình 1).



Hình 1. Khu vực thí điểm DMA 03 và DMA 16 tại TP Hải Dương

Các thiết bị được trang bị phục vụ cho nghiên cứu bao gồm: Thiết bị âm học để thu nhận âm thanh từ dòng chảy trên đường ống Sonic M1 kèm theo thanh truyền âm thanh từ đường ống nằm dưới sâu tới thiết bị Sonic (3 bộ); Điện thoại thông minh với hệ điều hành Android; Giá đỡ; Cáp kết nối; Cáp sạc; Phần mềm NELOW của hãng Wi-Plat (Hình 2).

Hình 2. Thiết bị phục vụ thử nghiệm 1 tại Hải Dương

Sau khi lắp đặt, kích hoạt nút nguồn trên thiết bị Sonic M1, thiết bị sẽ tự động bật bluetooth, đồng thời kích hoạt phần mềm NELOW trên điện thoại thông minh. Tiến hành dò tìm bằng cách

đặt thanh cắm lên thành tuyến ống hay bề mặt các phụ kiện như van, đồng hồ,… có nước chảy qua, chọn chế độ đọc dữ liệu. Mỗi điểm dò tìm cách nhau từ 10 - 20 m, và việc này được lặp lại trên toàn tuyến ống. Xung động âm thu nhận từ dòng nước chảy được số hóa và thông qua nền tảng điện toán đám mây truyền về trung tâm, nơi có phần mềm NELOW. Phần mềm thông minh sẽ phân tích dữ liệu âm thanh (độ lớn, biên độ dao động, tần số), phân tích các điểm có nghi ngờ rò rỉ (ký hiệu là các vòng tròn màu đỏ trên bản đồ số mạng lưới cấp nước). Kích thước vòng tròn phụ thuộc vào vật liệu ống, lưu lượng dòng chảy hay mức độ rò rỉ nghi ngờ, khoảng cách từ điểm đo tới điểm rò rỉ. Phần mềm có thể nhận biết và chỉ ra điểm có nguy cơ cao khi dịch chuyển thiết bị dò tìm âm thanh đến gần hay xa hơn điểm rò rỉ, giúp đào tìm được điểm rò rỉ chính xác hơn (Hình 3-4).

Dữ liệu hiện trạng của khu vực cấp nước, bản đồ số hóa về mạng lưới cấp nước, với dữ liệu chi tiết về các tuyến ống, lịch sử nước thất thoát của khu vực được thu thập, dùng làm dữ liệu nền. Số liệu thất thoát của DMA 03 tháng trong tháng 10 và tháng 11 năm 2022 tương ứng là 11,6 và 11,5%, của DMA 16 là 10,5 và 11,2%.

Hình 3. Thu thập dữ liệu hiện trường tại DMA 03, khu vực Cẩm Thượng, Hải Dương

Hình 4. Thu thập dữ liệu hiện trường tại DMA 16, khu vực Hải Tân, Hải Dương

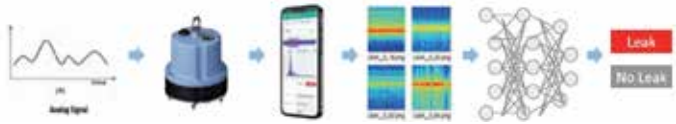
2.2. Mô tả thử nghiệm tại TP Hà Nội

Khu vực nghiên cứu được lựa chọn dựa trên các tiêu chí: (i) tỷ lệ thất thoát nước cao (>15%), (ii) có dữ liệu sản lượng và tỷ lệ thất thoát đầy đủ, (iii) mạng lưới có quy mô đủ lớn và đa dạng, (iv) tồn tại nguy cơ rò rỉ ngầm chưa xác định được vị trí, và (v) có khả năng đánh giá hiệu quả trước và sau khi triển khai. Theo các tiêu chí này, xã Bát Tràng (Đa Tốn cũ) thuộc Xí nghiệp Nước sạch Gia Lâm được lựa chọn làm khu vực thí điểm triển khai (Hình 5).

Xã Bát Tràng (Đa Tốn cũ) bao gồm các thôn Khoan Tế, Ngọc Động, Đào Xuyên, Thuận Tốn, Lê Xá; và một phần xã Gia Lâm bao gồm khu vực dọc Quốc lộ 5 và một số khu vực lân cận. Đây là khu vực có tỷ lệ thất thoát cao, 16.2%.

Hình 5. Khu vực thí điểm - DMA Đa Tốn

Sử dụng thiết bị Wi.Plat để thu nhận và phân tích tiếng ồn do rò rỉ trên mạng lưới cấp nước. Khi phát hiện tín hiệu âm thanh nghi ngờ rò rỉ phát sinh từ mạng lưới đường ống, dữ liệu được tải lên nền tảng NELOW Cloud, nơi trí tuệ nhân tạo (AI) phân tích, đánh giá liệu tín hiệu thu được có phải là rò rỉ nước hay không (Hình 6). Kỹ thuật viên cũng có thể rà soát lại bằng cách nghe các tập tin âm thanh đã được thu thập kèm hình ảnh và vị trí theo GIS để phân tích sâu, sàng lọc, gửi cho nhóm hiện trường dùng thiết bị khuếch đại âm thanh truyền thống xác nhận lại điểm rò rỉ.



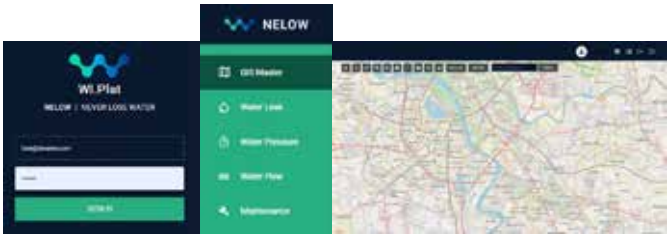
Hình 6. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của Wi.Plat

Với 4 bộ thiết bị Wi.Plat - Sonic GL, tổ công tác đã thực hiện 6.811 điểm đo, gồm 4.410 điểm đo trên địa bàn xã Bát Tràng và 2.401 điểm đo trên địa bàn xã Gia Lâm, bao gồm đồng hồ khách hàng, van phân phối và trụ cứu hỏa (Hình 7, Hình 8).

Hình 7. Thu thập dữ liệu hiện trường tại khu vực Đa Tốn

Hình 8. Thu thập dữ liệu hiện trường tại khu vực Cổ Bi

Nền tảng quản lý hệ thống thông qua cloud WI.Plat được cung cấp kèm phần cứng thiết bị IoT Sonic GL. Từ giao diện chung của chương trình, tùy theo nhu cầu mà người dùng có thể khởi tạo các dự án riêng tương ứng để thực hiện dò tìm và quản lý, bao gồm quản lý về thông tin địa lý (GIS), dò tìm rò rỉ, quản lý áp lực, quản lý lưu lượng và chương trình bảo trì hệ thống mạng lưới (Hình 9).



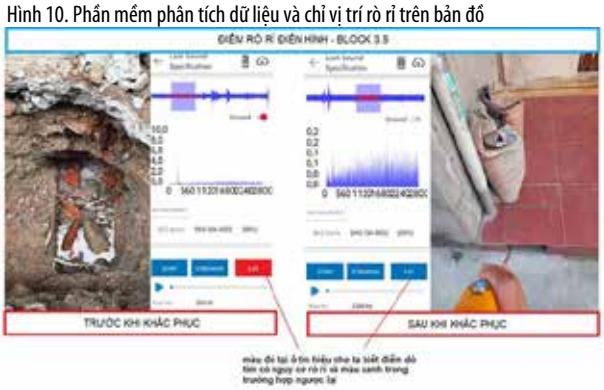
Hình 9. Giao diện ứng dụng trên máy tính của trình quản lý

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả nghiên cứu tại Hải Dương

Trong thời gian tháng 10-12/2021, nhóm nghiên cứu đã triển khai dò tìm ở 2 khu vực DMA 03 và DMA 16 tổng cộng 500 lượt (Hình 10) và tìm được các điểm rò rỉ chính xác thông qua hiển thị đề xuất trên ứng dụng Nelow (Hình 11), kết quả kiểm soát rò rỉ thu được như Bảng 1 [5], [6].

Hình 10. Phần mềm phân tích dữ liệu và chỉ vị trí rò rỉ trên bản đồ



Hình 11. Kết quả dò tìm từ một điểm rò rỉ điển hình

Bảng 1. Các kết quả kiểm soát rò rỉ thu được

Khu vực	Điểm rò rỉ phát hiện bằng thiết bị Sonic M1	Điểm rò rỉ có thể quan sát (không dùng thiết bị Sonic M1)	Tỷ lệ thất thoát nước		
DMA 03	6	1	T10/2022	T11/2022	T12/2022
DMA 16	8	4	11,6	11,5	10,1
Tổng	14	5	10,5	11,2	8,8

Đối với DMA 03, sau 1 tháng, tỷ lệ thất thoát đã giảm xuống còn 10,1%, hay giảm 13% so với ban đầu. Đối với DMA 16, tỷ lệ thất thoát còn 8,8%, giảm 19% so với ban đầu. Với khu vực có tỷ lệ thất thoát vốn đã thấp, các tuyến ống còn tương đối mới, kết quả thử nghiệm cho thấy giảm được gần 2% lượng nước thất thoát chỉ trong 2 tháng thử nghiệm là kết quả rất khả quan [6].

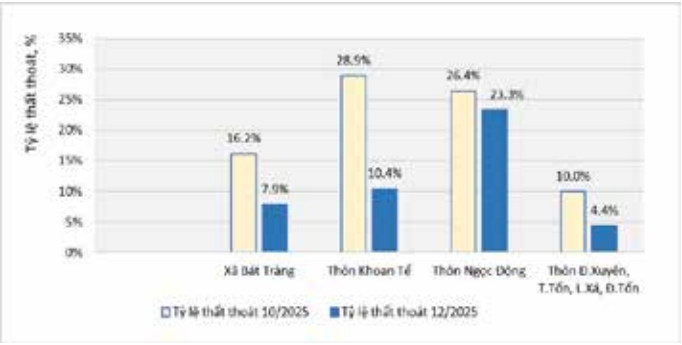
3.2. Kết quả nghiên cứu tại TP Hà Nội

Kết quả thực nghiệm tháng 10-12/2025 cho thấy 9 điểm rò rỉ được xác định chính xác, bao gồm các vị trí ống DN25 và DN50 tại xã Bát Tràng. Lưu lượng nước thất thoát ước tính 7m^3/h, tương ứng giảm 8.3% so với tháng 10, tương đương 5.750 m^3/tháng [7].

Tại khu vực xã Gia Lâm, đã thử nghiệm khu vực QL5, tổ dân phố Bình Minh, Voi Phục, Kiên Trung; thôn Kiêu Kỵ và khu TT Z176, phát hiện và sửa chữa 2 điểm vỡ ống DN50, DN63. Lưu lượng nước thất thoát ước tính 0,2m^3/h [7] (Bảng 2). Sau khi phát hiện và sửa chữa, tỷ lệ thất thoát của khu vực giảm (Hình 12).

Bảng 2. So sánh tỷ lệ thất thoát nước trước và sau khi thực hiện dự án

STT	Khu vực thực hiện	Tỷ lệ TTTT tháng 10/2025	Tỷ lệ TTTT tháng 12/2025	So sánh (+/-)	Lượng nước thu hồi quy đổi (m^3/tháng)
I	Xã Bát Tràng (Đa Tốn cũ)	16,2%	7,9%	-8,3%	5.750
1	Thôn Khoan Tế	28,9%	10,4%	-18,5%	2.900
2	Thôn Ngọc Động	26,4%	23,3%	-3,1%	250
3	Thôn Đào Xuyên, Thuận Tốn, Lê Xá, mặt đường Đa Tốn	10,0%	4,4%	-5,6%	2.600
II	Xã Gia Lâm				
1	Thôn Kiêu Kỵ, TT Z176	30,7%	30,4%	-0,2%	290



Hình 12. So sánh tỷ lệ giảm thất thoát nước trước và sau khi thực hiện dự án

3.3. Tính toán chi phí - lợi ích

Giả định cơ sở: Sản lượng DMA 5.000 m^3/ngày; Sản lượng năm 1.825.000 m^3; Giá bán nước 8.000 VNĐ/m^3.

Phương án thuê thiết bị (EaaS - Equipment as a Service): trong trường hợp công ty chưa trang bị bộ thiết bị ban đầu, cần thời gian để đánh giá chi tiết hơn tính phù hợp và khả thi dự án. Giá trị lượng nước thất thoát tránh được và lợi ích thu được như sau:

Bảng 3. Giá trị lượng nước thất thoát tránh được và lợi ích thu được

Mức giảm NRW	Nước thu hồi (m^3/năm)	Giá trị kinh tế (VNĐ/năm)	So với Gói 6 tháng (210 triệu)	So với Gói 12 tháng (360 triệu)
1%	18.250	146.000.000	70%	41%
2%	36.500	292.000.000	139%	81%
3%	54.750	438.000.000	209%	122%
4%	73.000	584.000.000	278%	162%
5%	91.250	730.000.000	348%	203%

Phương án đầu tư thiết bị (Equipment as a Purchse - EaaP):

Giá trị thu hồi = Sản lượng năm × % giảm NRW × Giá bán nước

Bảng 4. Giá trị lượng nước thất thoát tránh được và lợi ích thu được

Giảm NRW	Nước thu hồi (m^3/năm)	Giá trị thu hồi (triệu VNĐ/năm)	ROI năm 1
1%	18.250	146	20,9%
2%	36.500	292	41,7%
3%	54.750	438	62,6%
4%	73.000	584	83,4%
5%	91.250	730	104,3%
6%	109.500	876	125,1%
7%	127.750	1.022	146,0%
8%	146.000	1.168	166,9%

Bảng 5. Thời gian hoàn vốn (Payback Period)

Giảm NRW	Giá trị thu hồi (triệu/năm)	Thời gian hoàn vốn
1%	146	4,8 năm
2%	292	2,4 năm
3%	438	1,6 năm
4%	584	1,2 năm
5%	730	11,5 tháng
6%	876	9,6 tháng

Kết quả tính toán lợi ích - chi phí cho thấy thời gian thu hồi vốn trung bình là 2-3 năm tùy mức độ thất thoát có thể giảm được.

3.4. Đánh giá ưu - nhược điểm và tính khả thi của công nghệ

Hai dự án thí điểm đã chứng minh tính hiệu quả của công nghệ Wi.Plat - Sonic trong phát hiện rò rỉ, trực quan và hỗ trợ nhanh chóng việc tìm ra điểm nghi ngờ có rò rỉ nhờ hiển thị nhanh thông qua điện thoại thông minh.

Phương pháp này cho phép phát hiện rò rỉ với độ chính xác, tốc độ đo nhanh (mỗi giờ có thể đo được khu vực với 200 - 250 đồng hồ khách hàng), đồng thời cho phép tiến hành đo được vào ban ngày, mà không bị nhiễu bởi các tiếng ồn do phương tiện giao thông đi lại trên đường như thiết bị khuếch đại âm truyền thống, giúp giảm thiểu nhiều các ca lao động đêm của công nhân. Thay vì phải huy động nhân lực đi rà soát tất cả các tuyến ống để xác định rò rỉ ban đêm với tai nghe và dụng cụ khuếch đại âm, việc sử dụng công nghệ thông minh và lựa chọn chiến lược kiểm soát rò rỉ thích hợp (sàng lọc - xác định rò rỉ - khắc phục) có hiệu quả cao hơn và giảm chi phí nguồn lực hơn. Ngoài ra, kết hợp với thiết bị khuếch đại âm truyền thống, đồng thời tích hợp thiết bị Sonic M1 với các phương tiện kiểm soát mạng lưới hiện đại như đồng hồ lưu lượng và áp suất, truyền dữ liệu theo thời gian thực về qua hệ thống Scada, cho phép xác định được chính xác, nhanh chóng điểm rò rỉ trên mạng lưới với chi phí vận hành thấp. Đặc biệt, với những ưu điểm kể trên, thiết bị có thể phát huy hiệu quả rất tốt với khu vực có tỷ lệ thất thoát còn cao.

Công nghệ hỗ trợ công tác quản lý công việc và trích xuất báo cáo rất chi tiết. Với hệ thống Nelow này, đơn vị sử dụng có thể quản lý chính xác các tác vụ, lộ trình (theo hệ thống thông tin địa lý - GIS), xuất báo cáo danh mục các điểm khả nghi có rò rỉ, kèm hình ảnh và âm thanh tương ứng để rà soát kiểm tra trước khi ra quyết định sửa chữa rò rỉ.

Thiết bị WI.Plat hoạt động tương thích hệ thống thông tin địa lý GIS, phục vụ kiểm tra đối tượng cấp nước chính xác theo các dữ liệu số hóa của Công ty cấp nước, tham gia tốt công tác chuyển đổi số trong công tác quản lý vận hành, nâng cao năng suất và độ chính xác. Thiết bị cho phép người dùng lưu trữ và truy xuất dữ liệu lịch sử từng điểm đo trên nền tảng đám mây, dễ dàng quản lý và theo dõi. Ưu điểm nổi bật của Wi.Plat - Sonic là khả năng hoạt động trong điều kiện ẩm ướt (chuẩn IP68) và phân tích dữ liệu bằng AI giúp cảnh báo rò rỉ chính xác.

Xác định khu vực có khả năng rò rỉ thất thoát cao bằng cách triển khai diện rộng với số lượng thiết bị và nhân lực cơ bản, không cần nhân sự có chuyên môn cao hay kinh nghiệm lâu năm trong công tác dò tìm rò rỉ mà vẫn đáp ứng được nhiệm vụ phân vùng rò rỉ cho khu vực. Từ đó, đặt mức độ ưu tiên cho các bước định vị chính xác điểm rò rỉ trên mạng lưới, giảm thời gian quá độ trong quá trình dò tìm bằng thiết bị chuyên dụng truyền thống, do mất nhiều thời gian để tiếp cận được điểm rò rỉ. Thu hồi được lượng nước thất thu trong khoảng thời gian "chết" đó, dù muốn hay không nó vẫn xảy ra. Tăng cao sự phối hợp, điều hành theo ma trận nếu có trong đơn vị, các nhân sự đều có thể tham gia công nghệ này mà không gặp phải thử thách đáng kể như những loại thiết bị chuyên dụng truyền thống.

Tuy nhiên, một số mặt hạn chế của công nghệ này cần được cải thiện, tiếp tục phát triển. Thiết bị IoT đang sử dụng công nghệ ghi âm học, nên vẫn có ảnh hưởng nhất định từ tiếng ồn của môi trường xung quanh trong quá trình vận hành. Nền tảng AI và học máy sâu cần được phát triển để lọc được nhiễu tốt hơn.

Thiết bị sử dụng kết nối từ cảm biến với điện thoại thông minh (Smartphone) bằng kết nối Bluetooth. Điện thoại phải có nguồn điện đủ tốt để không làm gián đoạn công tác thu thập dữ liệu.

Thiết bị thu âm và phân tích dữ liệu chưa tốt khi sử dụng trên tuyến trục chính, mạng lưới truyền tải, với độ sâu chôn ống lớn, đường kính ống lớn, và còn hạn chế với vật liệu ống phi kim loại, với khả năng truyền âm thấp hơn nhiều so với ống kim loại.

Công nghệ này cũng cần đội ngũ được huấn luyện và thực hiện thao tác thành thạo. Công ty cấp nước cần có kế hoạch tập huấn và chiến lược chuẩn bị nhân sự phù hợp.

3.5. So sánh kết quả nghiên cứu với các dự án Wi.Plat tại Hàn Quốc và quốc tế

Kết quả triển khai công nghệ Wi.Plat tại Hải Dương và Hà Nội cho thấy xu hướng tương đồng với các dự án đã được thực hiện tại Hàn Quốc và nhiều quốc gia khác (Bảng 6).

Bảng 6. So sánh kết quả đạt được tại Việt Nam với các dự án quốc tế

Dự án	**Quốc gia**	**Điểm rò rỉ phát hiện**	**Hiệu quả chính**
Hải Dương	Việt Nam	14	NRW giảm ~13-19%
Hà Nội	Việt Nam	11	NRW giảm từ 16,16% xuống 7,9%
Wanju	Hàn Quốc	8	MNF giảm 39%
Uiseong	Hàn Quốc	5	Hiệu suất cấp nước tăng >10%
Jangheung	Hàn Quốc	15	Tiết kiệm 36.500 m^3/năm
Surabaya	Indonesia	>30	MNF giảm 30%
Bandung	Indonesia	>30	Tiết kiệm 109.500 m^3/năm
Cirebon	Indonesia	>30	Tiết kiệm 153.300 m^3/năm
Sarawak	Malaysia	14	MNF giảm 15%
Sivas	Thổ Nhĩ Kỳ	4	NRW khu vực ~40% được cải thiện

Tại Surabaya (Indonesia), sau khi triển khai nền tảng NELOW kết hợp cảm biến âm học và AI, lưu lượng đêm tối thiểu (MNF) giảm khoảng 30%, phát hiện trên 30 điểm rò rỉ và tiết kiệm khoảng 175.000 m^3 nước mỗi năm. Tại Bandung và Cirebon, hơn 60 điểm rò rỉ được phát hiện, giúp tiết kiệm tổng cộng hơn 262.000 m^3 nước mỗi năm [8].

Tại Hàn Quốc, dự án Wanju ghi nhận mức giảm 39% lưu lượng đêm tối thiểu sau khi sửa chữa 8 điểm rò rỉ lớn, tương đương tiết kiệm khoảng 163.000 m^3 nước mỗi năm. Dự án Uiseong giúp nâng hiệu suất cấp nước từ khoảng 70% lên trên 80%, đồng thời tiết kiệm khoảng 109.500 m^3 nước mỗi năm. Tại Jangheung, hệ thống đã xác định 149 điểm nghi ngờ rò rỉ và xác nhận 15 điểm rò rỉ thực tế, mang lại hiệu quả tiết kiệm khoảng 36.500 m^3 nước mỗi năm [8].

Các dự án tại Malaysia, Thổ Nhĩ Kỳ và Ấn Độ cũng cho thấy hiệu quả tương tự. Tại Sarawak (Malaysia), MNF giảm 15% chỉ sau một tháng vận hành; tại Sivas (Thổ Nhĩ Kỳ), hệ thống hỗ trợ giảm thất thoát trong khu vực có tỷ lệ NRW gần 40%; trong khi tại Jodhpur và Dehradun (Ấn Độ), 16 điểm rò rỉ được phát hiện và xử lý, giúp tiết kiệm khoảng 43.000 m^3 nước mỗi năm [8].

Điều này chứng minh rằng công nghệ Sonic - IoT - AI của Wi.Plat phù hợp với điều kiện hạ tầng cấp nước tại Việt Nam.

Công nghệ IoT trong ngành cấp nước đã được triển khai rộng rãi tại nhiều quốc gia, nơi các doanh nghiệp cấp nước đã xây dựng hệ thống quản lý mạng lưới thông minh (Smart Water Network) với khả năng giám sát liên tục lưu lượng, áp lực và rò rỉ theo thời gian thực. Tại Việt Nam, hạ tầng số và dữ liệu GIS của nhiều đơn vị cấp nước đang từng bước được hoàn thiện, tạo điều kiện thuận lợi cho việc ứng dụng các giải pháp IoT và AI trong quản lý thất thoát nước. So với các công nghệ truyền thống, giải pháp Wi.Plat có ưu thế nhờ chi phí đầu tư hợp lý, dễ triển khai, không yêu cầu hạ tầng phức tạp và phù hợp với điều kiện vận hành của đa số doanh nghiệp cấp nước tại Việt Nam. Công nghệ có thể được áp dụng theo giai đoạn (phase) để đảm bảo tính tương thích và khả năng đầu tư tài chính.

So với phương pháp dò tìm rò rỉ truyền thống sử dụng thiết bị khuếch đại âm và tương quan âm, công nghệ Wi.Plat giúp mở rộng phạm vi khảo sát, giảm phụ thuộc vào kinh nghiệm cá nhân của kỹ thuật viên và hỗ trợ số hóa toàn bộ quá trình thu thập dữ liệu. Hệ thống cho phép lưu trữ dữ liệu trên nền tảng đám mây, phân tích bằng AI và quản lý theo GIS, tạo tiền đề cho công tác quản lý tài sản và vận hành mạng lưới theo hướng chuyển đổi số.

Kết quả thực nghiệm tại Hải Dương và Hà Nội cho thấy công nghệ phù hợp với các DMA có tỷ lệ thất thoát từ trung bình đến cao (>10%), đặc biệt hiệu quả đối với mạng lưới dịch vụ và phân phối có mật độ đấu nối lớn. Với mô hình dịch vụ (Equipment as a Service - EaaS), các đơn vị cấp nước có thể tiếp cận công nghệ mà không cần đầu tư CAPEX ban đầu, từ đó giảm rủi ro tài chính và tăng khả năng triển khai diện rộng [8].

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Các kết quả thử nghiệm cho thấy công nghệ thông minh chống thất thoát nước Wi-Plat sử dụng thiết bị nghe và truyền tín hiệu âm thanh, dựa trên nền tảng bản đồ số, công nghệ điện toán đám mây, phần mềm phân tích dữ liệu thông minh, cho phép xác định chính xác điểm rò rỉ theo thời gian thực, đo được cả ban ngày, với các thiết bị dễ sử dụng, không đòi hỏi kỹ thuật phức tạp. Lượng nước thất thoát trong 2 tháng thử nghiệm tại 2 khu vực tương ứng còn 10,1% (DMA 03) và 8,8% (DMA 16), giảm 13% và 19% so với trước dự án; tỷ lệ thất thoát chung giảm 2% tại 2 khu vực vốn có tỷ lệ thất thoát rất thấp, khó tìm điểm rò rỉ tại TP Hải Dương. Tại Hà Nội, kết quả thực hiện thuộc DMA Xã Bát Tràng (Đa Tốn cũ) trong 2 tháng thử nghiệm đã giảm đến 50% lượng nước thất thoát, còn 8,3% so với đầu kỳ thực hiện dự án là 16,3%, thu hồi được lượng nước tương ứng lên đến 5.750 m^3/tháng.

Việc ứng dụng công nghệ thông minh trong chống thất thoát nước rất có tiềm năng và nhiều cơ hội ở Việt Nam, khi tỷ lệ thất thoát nói chung còn cao, và đang thu hút sự quan tâm của nhiều doanh nghiệp cấp nước.

Những kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy công nghệ Wi.Plat đã được triển khai áp dụng thành công. Kiến nghị triển khai diện rộng, ứng dụng công nghệ này tại các đơn vị cấp nước khác.

Bên cạnh thất thoát cơ học từ rò rỉ nước trên mạng lưới, cần thiết phải có chiến lược tổng thể để quản lý nước không doanh thu, với các giải pháp cụ thể ưu tiên trước mắt và dài hạn tại doanh nghiệp cấp nước. Việc phát hiện và khắc phục rò rỉ cũng phải được thực hiện thường xuyên, liên tục, do hiện tượng rò rỉ nước trên mạng lưới luôn xảy ra hằng ngày, hằng giờ.

Triển khai áp dụng quản trị nước thông minh góp phần đảm bảo an ninh nguồn nước của khu vực và quốc gia, giúp điều tiết, sử dụng tài nguyên nước hợp lý, giúp bảo vệ sức khỏe cộng đồng và nâng cao chất lượng cuộc sống, đảm bảo an ninh, an toàn và an sinh xã hội. Những lợi ích do ứng dụng quản trị nước thông minh mang lại không chỉ cho bản thân doanh nghiệp mà còn cho cả cộng đồng.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Nhà tài trợ Dự án P4G, Hội Cấp thoát nước Việt Nam, Công ty CP Tư vấn và Đầu tư Đô thị Việt, Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường (IESE), Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Công ty K-Water và Công ty Wi.Plat (Hàn Quốc), Công ty CP Nước sạch Hải Dương, Công ty TNHH Công nghệ AiwaterX, Công ty CP Nước sạch số 2 Hà Nội đã hỗ trợ, phối hợp và tham gia thực hiện Dự án.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Hội Cấp thoát nước Việt Nam. Báo cáo tại Hội nghị Ban chấp hành Hội CTNVN. 5/2026.

[2] Chương trình Quốc gia bảo đảm cấp nước an toàn giai đoạn 2016 - 2025, được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 1566/QĐ-TTg ngày 9/8/2016, 2016.

[3] Chỉ thị số 34/CT-TTg ngày 28/08/2020 của Thủ tướng Chính phủ về tăng cường công tác quản lý hoạt động sản xuất, kinh doanh nước sạch, bảo đảm cấp nước an toàn, liên tục. 2020.

[4] Nguyễn Việt Anh, Vũ Hồng Dương, Trần Văn Dương, Nguyễn Văn Hợp. Quản lý vận hành và bảo dưỡng các công trình của hệ thống cấp nước. NXB. Xây dựng, 2016.

[5] Công ty CP Kinh doanh Nước sạch Hải Dương. Báo cáo kết quả hoạt động sản xuất, kinh doanh năm 2021 và 2022, 2022.

[6] Võ Duy Quý, Nguyễn Việt Anh, Phạm Minh Cường, Lê Thu Thủy, Sanghoon Cha. Kết quả nghiên cứu ứng dụng công nghệ thông minh Wi.Plat trong xác định rò rỉ trên mạng lưới cấp nước tại thành phố Hải Dương. Tạp chí Cấp thoát nước Việt Nam, số 140, tr. 68-71, 4/2022.

[7] Xí nghiệp Nước sạch Gia Lâm, Công ty Nước sạch số 2 Hà Nội. Báo cáo công tác tháng 12/2025, 2025.

[8] WI.Plat. Project_Case Studies_190626(EN), 2026.