

GIÁM SÁT VÀ ĐIỀU KHIỂN CÁC TRẠM BƠM NƯỚC THẢI THÀNH PHỐ BẠC LIÊU MONITORING AND CONTROLLING WASTEWATER PUMPING STATIONS IN BAC LIEU CITY

TRẦN QUỐC KHÁNH^{1*}, NGUYỄN VĂN KHANH²,
TRẦN QUỐC DUY², NGUYỄN CHÍ NGÔN²

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

²Đại học Cần Thơ

Email*: khanhcscc@gmail.com

Nhận bài (Received): 21/9/2022; Phản biện (Reviewed): 22/10/2022; Chấp nhận (Accepted): 29/11/2022

TÓM TẮT

Từ năm 2006, thành phố Bạc Liêu đã đưa vào vận hành 3 trạm bơm xả nước thải để đối phó với tình trạng ngập cục bộ. Hiện tại chúng đã bị hư hỏng nhiều tính năng, xuống cấp, chỉ vận hành thủ công. Mục đích của nghiên cứu này là tích hợp chức năng giám sát mực nước, điều khiển giám sát trạng thái bơm vào các trạm bơm hiện tại dựa trên nền tảng internet vạn vật. Tại mỗi trạm, một thiết bị sẽ được thiết kế để thu thập và cập nhật mực nước lên máy chủ đám mây. Riêng đối với trạm chính, còn có thêm chức năng điều khiển và giám sát bơm. Lệnh điều khiển và trạng thái bơm được đồng bộ lên máy chủ. Một ứng dụng web được thiết kế để người vận hành có thể tương tác với hệ thống hiệu quả nhất. Các thiết bị đã được thiết kế, lắp đặt và vận hành thành công. Mặc dù còn tồn tại một số nhược điểm, nhưng hệ thống đã hoạt động ổn định liên tục trong thời gian dài giúp nâng cao hiệu quả vận hành các trạm bơm.

Từ khóa: Internet vạn vật, giám sát mực nước, ứng dụng web, bơm xả nước thải.

ABSTRACT

Since 2006, Bac Lieu city has operated 3 wastewater pumping stations to cope with local flooding. At present, some features of them have been damaged, degraded, and can only be operated manually. The objective of this study is to integrate functions of water level monitoring, control and monitor the pump status into existing pumping stations based on IoTs (Internet of Things). At each station, a device will be designed to collect and update the water level in real time to a cloud server. Particularly for the main station, an additional function of controlling and monitoring the pump is also developed. User commands and pump status are also synchronized to the server. A web application is designed so that the operator can interact with the system most efficiently. All devices have been successfully designed, installed, and operated. Although there are still some disadvantages, the system has operated stably and continuously for a long time, helping to improve the efficiency of pumping stations.

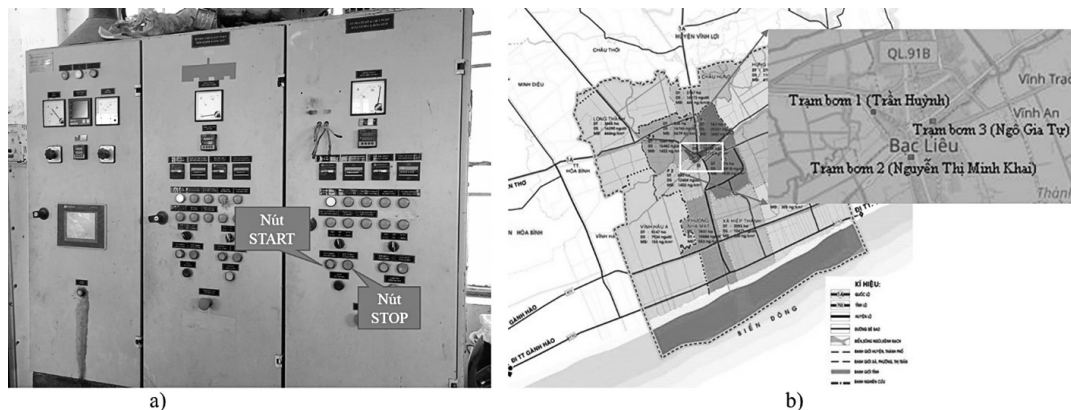
Keyword: Internet of things, water level monitoring, web application, wastewater pumping.

1. GIỚI THIỆU

Cùng với sự tăng trưởng kinh tế và đô thị hóa, các thành phố ở Việt Nam nói chung và thành phố Bạc Liêu nói riêng đang đối mặt với nhiều thách thức về môi trường, điển hình như ô nhiễm không khí, nước và chất thải rắn. Một số nguyên nhân chính có thể kể đến là tốc độ tăng dân số cao; quá trình đô thị hóa, công nghiệp hóa và hiện đại hóa nhanh; thực thi pháp luật về bảo vệ môi trường hạn chế; nguồn lực bảo vệ môi trường không đủ; và đặc biệt là sụt lún đất kết hợp những tác động tiêu cực của biến đổi khí hậu ngày càng rõ rệt. Điều này tạo sức ép lớn đến môi trường đô thị, đặc biệt là hệ thống thoát nước, chống ngập lụt đô thị.

Là một thành phố ven biển, Bạc Liêu chịu ảnh hưởng rất lớn của biến đổi khí hậu, đô thị bị ngập thường xuyên nhất là vào mùa mưa. Năm 2006, Liên bang

Australia (Commonwealth of Australia) đã đầu tư xây dựng hệ thống bơm xả thải cho thành phố Bạc Liêu để giải quyết vấn nạn này. Vị trí lắp đặt các trạm như minh họa trong Hình 1b. Tuy nhiên, do vận hành thường xuyên, liên tục nên nay hiện tại hệ thống đã xuống cấp, hư hỏng nhiều tính năng. Các tủ điều khiển bơm tại trạm trung tâm (Hình 1a) đã hư hầu hết các chức năng, hiện tại chỉ sử dụng hai nút START và STOP để vận hành bơm thủ công. Dù có nhiều nỗ lực, nhưng công tác chống ngập do mưa và triều cường tại tỉnh Bạc Liêu vẫn còn khó khăn. Hiện tại, các trạm bơm xả nước thải chỉ vận hành thủ công theo phương án “Bố trí công nhân trực, vận hành tại chỗ” nên ảnh hưởng rất nhiều cho sức khỏe và tiêu tốn nhiều công sức lao động. Việc cải thiện các tính năng của trạm bơm hiện tại, nhất là áp dụng công nghệ 4.0 trong giám sát và điều khiển sẽ cải thiện được hiệu suất vận hành và nhất là sức khỏe công nhân.



Hình 1. Hiện trạng tủ điều khiển tại trạm bơm trung tâm và vị trí các trạm bơm

Hiện nay, công nghệ IoTs đã và đang được áp dụng trong nhiều lĩnh vực của đời sống. Công nghệ này tạo nên một cơ chế rất hiệu quả để thu thập dữ liệu hay điều khiển thiết bị qua internet. Đặc biệt, IoTs đã được áp dụng nhiều nghiên cứu giám sát mực nước sông, kênh rạch, giám sát lũ lụt [1, 2, 3]; mực nước các hệ thống bồn

trữ nước sinh hoạt [4]. Đặc điểm chung của công nghệ này các trạm thiết bị (Things) được đặt khắp nơi trong phạm vi ứng dụng để thu thập dữ liệu hay lệnh điều khiển từ web hay ứng dụng di động. Các dữ liệu thu thập được sẽ được đồng bộ lên máy chủ đám mây để lưu trữ và phục vụ cho ứng dụng. Cơ chế này giúp người sử dụng có

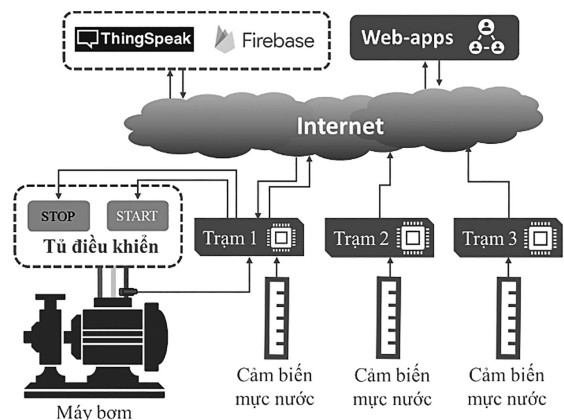
thể giám sát, phân tích dữ liệu hay ra lệnh điều khiển từ xa rất linh hoạt và tiện dụng. Mô hình này đặc biệt phù hợp với hệ thống giám sát mực nước và điều khiển bơm xả trong nghiên cứu này.

Mục tiêu của nghiên cứu này là nhằm xây dựng hệ thống cho phép để giám sát và điều khiển phân tán các trạm bơm qua internet dựa trên công nghệ IoTs. Ở giai đoạn thử nghiệm tính năng giám sát và điều khiển bơm chỉ áp dụng tại trạm trung tâm. Để thực hiện hệ thống, thiết bị thu thập số liệu mực nước sẽ được đặt hai trạm vệ tinh để liên tục thu thập số liệu mực nước gửi về máy chủ đám mây. Hiện tại dữ liệu này chủ yếu để người vận hành xác định thời điểm mở bơm. Tại trạm trung tâm, thiết bị được thiết kế ngoài chức năng thu thập mực nước còn có khả năng vận hành máy bơm xả qua mạng internet. Dữ liệu mực nước sẽ được lưu trữ để phục vụ cho phân tích đánh giá trong tương lai. Thử thách chính trong thiết kế các trạm thiết bị là môi trường bên dưới trạm bơm rất bẩn, luôn chứa đầy rác sinh hoạt, tính ăn mòn kim loại rất mạnh. Bên cạnh đó, máy bơm đang hoạt động nên cần có giải pháp can thiệp tối thiểu khi điều khiển từ ứng dụng. Thành công của hệ thống sẽ giúp nâng cao hiệu suất vận hành, làm nền tảng cho tự động hóa hoàn toàn hệ thống trạm bơm trong tương lai.

2. PHƯƠNG PHÁP

Tổng quan về phương pháp thực hiện của nghiên cứu này được trình bày trong Hình 2. Hệ thống được thiết kế sẽ nâng cấp thêm tính năng giám sát mực nước và điều khiển bơm qua internet cho tủ điện sẵn có. Tính năng điều khiển bơm chỉ thực hiện tại trạm bơm chính (Trạm 1), hai trạm vệ

ting (Trạm 2 và 3) chỉ thực hiện thu thập dữ liệu mực nước. Các trạm giao tiếp thời gian thực với nhau dựa trên cơ sở dữ liệu thời gian thực (Realtime database) của Firebase [5]. Dữ liệu quá khứ của các trạm sẽ được lưu trên vào máy chủ đám mây của Thingspeak để tiết kiệm dung lượng sử dụng của Firebase vì cả hai máy chủ đều sử dụng giới hạn miễn phí. Để điều khiển qua mạng, tại trạm chính, mạch được thiết kế sẽ tương tác trực tiếp với hai nút khởi động bơm (START) và dừng bơm (STOP), trạng thái hoạt động của bơm sẽ được kiểm tra qua cảm biến dòng để không xâm lấn vào hệ thống. Thiết kế chi tiết của các thành phần trong hệ thống sẽ được trình bày trong các phần tiếp theo.



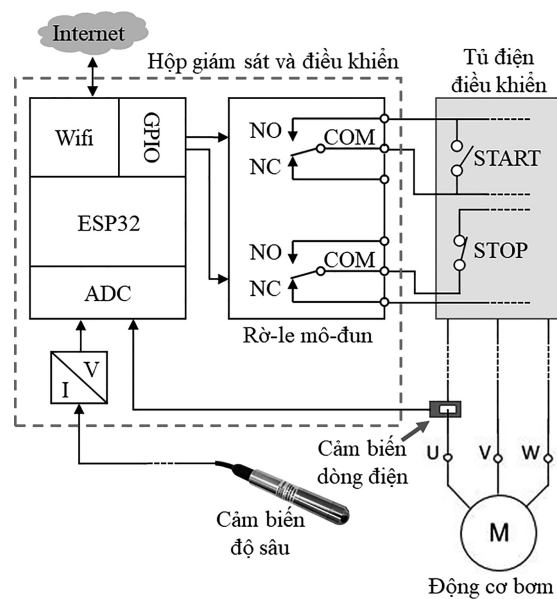
Hình 2. Tổng quan về hệ thống

2.1 Trạm thu thập và điều khiển bơm chính

Trạm 1 được đặt tại trạm bơm xả thải trung tâm vừa thu thập mực nước, điều khiển đóng mở và giám sát bơm. Bên cạnh đó, trạm này cũng thu thập mực nước giám sát tại hai trạm vệ tinh để ghi lên cơ sở dữ liệu Thingspeak [6] để đơn giản hóa việc đồng bộ thời gian lưu trữ. Đã có nhiều phương pháp đo mực nước đã được áp dụng tùy thuộc vào đặc điểm

của vị trí áp dụng. Phương pháp phổ biến nhất là sử dụng cảm biến siêu âm [1, 7, 8]. Phương pháp này có chi phí áp dụng thấp, độ chính xác khá cao nhưng chỉ phù hợp cho các vị trí thông thoáng, ít rác sinh hoạt. Gần đây kỹ thuật xử lý ảnh cũng đã áp dụng vào đo đạt mực nước sông, kênh rạch [8, 9]. Xử lý ảnh cho kết quả đo đạt rất khả quan, tuy nhiên bị phụ thuộc nhiều vào điều kiện môi trường, cần được cải tiến trước khi áp dụng rộng rãi. Với đặc thù luôn được đậy nắp kín, bị lấp đầy bởi rác sinh hoạt, môi trường dễ ăn mòn cho nên cảm biến thủy tĩnh công nghiệp được chọn để giám sát mực nước tại trạm bơm chính và hai trạm vệ tinh. Cảm biến sử dụng có khoảng đo tối đa 4 m, cấu tạo từ thép chống gỉ 304 để đảm bảo có thể hoạt động lâu dài ở điều kiện ăn mòn mạnh. Tuy nhiên, loại cảm biến này rất dễ bị ảnh hưởng bởi dòng chảy, đặc biệt là dòng nước xoáy khi vận hành bơm nên mực nước giám sát có độ chính xác không cao, cần có giải pháp cải tiến trong tương lai. Vì điều khiển ESP32 được chọn làm bộ xử lý chính ở mỗi trạm.

Bơm được điều khiển bằng một động cơ 3 pha thông qua tủ điện được lắp đặt sẵn từ dự án tài trợ. Hình 3 trình bày sơ đồ khối mạch điều khiển tại trạm chính. Giải pháp điều khiển bơm là sử dụng tiếp điểm rơ-le đầu nối trực tiếp vào nút điều khiển thủ công trên tủ điện. Để mở bơm, ESP32 sẽ điều khiển rơ-le có tiếp điểm thường hở NO (Normally Open) đầu song song với tiếp điểm START. Ngược lại, để tắt động cơ, ESP32 sẽ điều khiển một rơ-le khác có tiếp điểm thường đóng NC (Normally Closed) đầu nối tiếp với tiếp điểm STOP. Phương pháp này đảm bảo mạch điều khiển sẽ can thiệp ít nhất vào tủ điện hiện tại.



Hình 3. Sơ đồ khối trạm chính

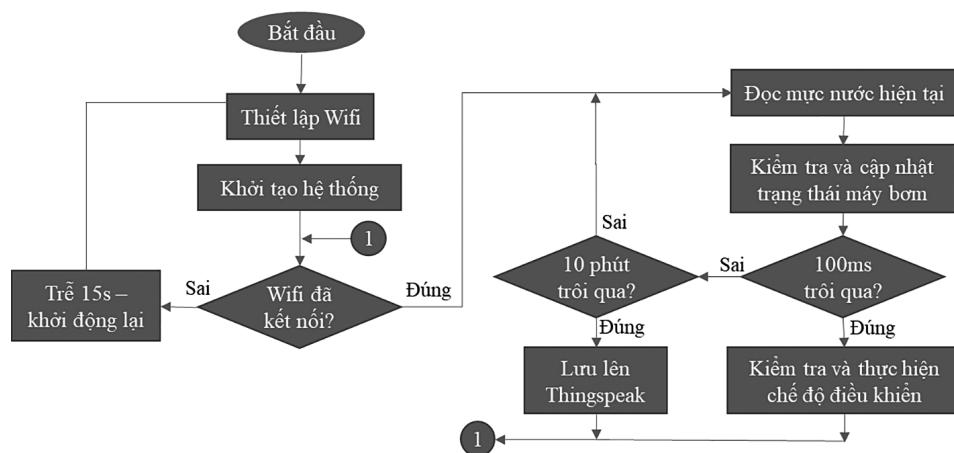
Trạng thái của bơm được giám sát bằng cảm biến dòng STC013 của hãng YHDC [10]. Cảm biến này đo dòng tiêu thụ trên một pha điện cấp cho bơm để xác định trạng thái. Cảm biến này có thể đo dòng điện tối đa 100A treo trực tiếp vào dây tải đơn nên việc lắp đặt rất đơn giản, không xâm lấn.

Vì điều khiển ESP32 sẽ thu thập dữ liệu mực nước, dòng đơn cấp cho bơm, giao tiếp internet để lưu trữ dữ liệu lên Thingspeak, ghi dữ liệu tức thời lên Realtime database của Firebase để cập nhật lên ứng dụng web. Bên cạnh đó, ESP32 cũng nhận lệnh điều khiển đóng/mở bơm và phản hồi trạng thái về ứng dụng web.

Hình 4 trình bày thuật toán chương trình của Trạm 1. Trạm này thực hiện hai tác vụ chính là cấu hình wifi và vòng lặp chính của trạm. Tác vụ cấu hình wifi sẽ kiểm tra xem đã có điểm truy cập nào đã được cấu hình chưa, nếu chưa nó sẽ khởi động chương trình webserver cho phép người sử dụng mở trang web cấu hình điểm truy cập. Sau khi cấu hình, hệ thống sẽ

được khởi động lại để kết nối wifi. Ngược lại, nếu điểm truy cập đã được thiết lập thì nó sẽ thực hiện kết nối wifi. Khi kết nối thành công trạm sẽ đọc mực nước, trạng thái máy bơm để cập nhật lên Firebase sau mỗi 500 ms, và sau 10 phút nó sẽ đọc mực nước của hai trạm 2 và 3 để lưu trữ vào Thingspeak. Hệ thống sử dụng thời gian thực, liên tục đồng bộ với thời gian internet qua máy chủ thời gian NTP (Network time

protocol) [11]. Trạng thái điều khiển của máy bơm chỉ được xác nhận và thực hiện điều khiển bơm nếu nó được duy trì liên tục 5 lần lập của hệ thống (khoảng 3 giây) để tránh trường hợp nhiễu tại cảm biến dòng làm cho máy bơm mở ngoài ý muốn. Trong quá trình hoạt động, nếu wifi bị mất kết nối thì chương trình sẽ quay về vòng lặp thực hiện kết nối lại.



Hình 4. Thuật toán chương trình trạm chính

Cảm biến đo mực nước sử dụng cảm biến thủy tĩnh công nghiệp có ngõ ra dòng điện từ 4 – 20 mA tương ứng với khoảng đo tối đa 4 m. Ngõ ra dòng này sẽ được chuyển đổi thành điện áp bằng kết nối với điện trở 150 xuống 0 V của mạch, điện áp ngõ ra sẽ từ 600 mV đến 3V, phù hợp với khoảng điện áp ngõ vào ADC (Analog to Digital Converter) của ESP32. Tuy nhiên, hiện tại kết cấu chống hồi lưu nước khi bơm của hồ bơm đã bị hư hỏng, dòng nước hồi lưu khá lớn nên cảm biến sẽ dao động lớn khi bơm đang hoạt động. Do đó, hiện tại mực nước chỉ đo tốt khi không bơm. Cảm biến thủy tĩnh cũng sẽ được thí nghiệm thu thập số liệu để hiệu chỉnh khi lắp đặt.

2.2 Trạm giám sát mực nước

Trạm 2 và 3 là hai trạm giám sát mực nước được đặt tại hai trạm bơm xả thải về

tỉnh. Hiện tại, hai trạm này chưa tích hợp chức năng điều khiển và giám sát bơm. Sơ đồ khối tương tự Trạm 1 nhưng chỉ gồm cảm biến thủy tĩnh và giao tiếp wifi. Thuật toán chương trình của hai trạm này cũng tương tự như Trạm 1 nhưng lược bỏ phần liên quan đến điều khiển và giám sát bơm.

2.3 Ứng dụng giám sát điều khiển

Ứng dụng này được thiết kế dựa trên nền tảng web tĩnh, giao diện được thiết kế bằng ngôn ngữ HTML (HyperText Markup Language) và CSS (Cascading Style Sheets), xử lý tương tác với người sử dụng bằng ngôn ngữ JavaScript. Giao diện chính của ứng dụng có thể tham khảo tại liên kết <https://tronics-sever.firebaseio.com/dashboard.html>. Khi chưa đăng nhập, người sử dụng chỉ có thể giám sát mực nước tức thời, biểu đồ mực nước trong quá khứ

và trạng thái bơm. Chức năng điều khiển bơm chỉ khả dụng khi người dùng đăng nhập bằng tài khoản được cấp phát sẵn. Ứng dụng sẽ thực hiện kết nối với Realtime database của Firebase, chờ sự thay đổi giá trị mực nước tại các trạm và cập nhật lên giao diện. Định kỳ 10 phút, dữ liệu quá khứ được lưu trên Thingspeak sẽ được đọc về để vẽ đồ thị mực nước quá khứ trên ứng dụng. Bên cạnh đó, ứng dụng cũng cung cấp chức năng *Biểu đồ* để cho phép chọn khoảng thời gian quan sát linh hoạt hơn.

3. KẾT QUẢ

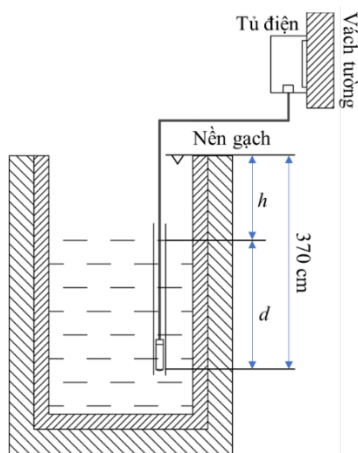
3.1 Hiệu chỉnh cảm biến thủy tĩnh

Hình 5a trình bày sơ đồ nguyên lý lắp đặt cảm biến thủy tĩnh. Do cảm biến thủy

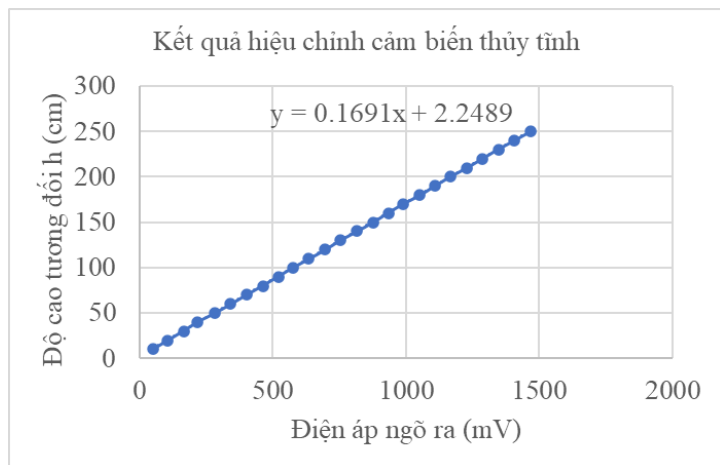
tĩnh chỉ đọc được độ sâu nên để xác định được mực nước hiện tại, hệ thống cần phải có một điểm tham chiếu cục bộ, được xem là 0 m. Nghiên cứu này chọn mặt thềm của trạm vận hành làm mức tham chiếu. Độ cao từ thềm đến vị trí cảm biến là 370 cm nên độ cao tương đối h sẽ được tính theo công thức (1).

$$h = 370 - d, \quad (1)$$

trong đó, d chính là độ sâu đo được bằng cảm biến thủy tĩnh. Do ba trạm bơm nằm ở ba vị trí cách xa nhau nên vị trí tham chiếu của dữ liệu sẽ khác nhau. Đây là một điểm không đồng nhất trong dữ liệu thu thập, tuy nhiên có thể khắc phục được trong tương lai bằng cách xác định cao độ quốc gia của mặt thềm các trạm.



a)



b)

Hình 5. Sơ đồ lắp đặt và kết quả hiệu chỉnh cảm biến thủy tĩnh đo mực nước

Để xác định được độ cao từ điện áp tại ngõ vào ADC của vi điều khiển, thí nghiệm thu thập dữ liệu để tìm ra phương trình hiệu chỉnh cảm biến. Thí nghiệm được thực hiện bằng cách thu thay đổi lần lượt độ sâu d của cảm biến (di chuyển dần cảm biến lên xuống) từ 0 đến 250 cm (mỗi bước 10 cm), ghi nhận lại điện áp tại ngõ ra cảm biến. Thí nghiệm được lập lại 4 lần, sau đó chúng sẽ được tổng hợp và tìm ra phương trình tương quan giữa điện áp đo được và

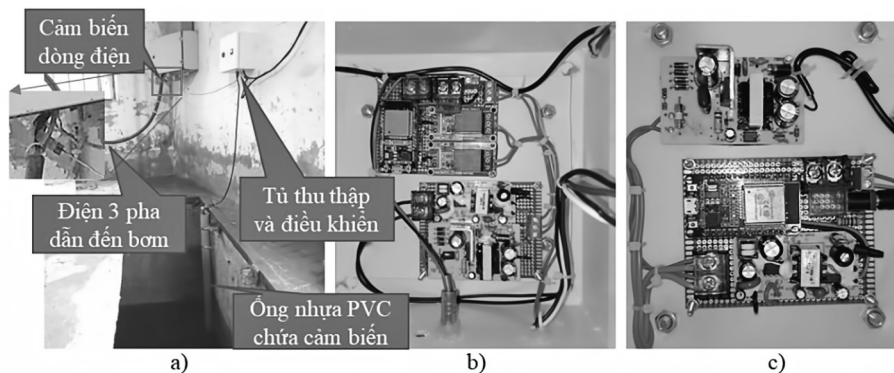
độ sâu d . Kết quả hiệu chỉnh được trình bày trong Hình 5b, phương trình hiệu chỉnh sẽ được cài đặt vào chương trình của ESP32 và được áp dụng cho cả 3 trạm. Thí nghiệm hiệu chỉnh cảm biến được thực hiện tại thời điểm mực nước đang ổn định để tránh ảnh hưởng của dòng chảy đến cảm biến.

Kết quả hiệu chỉnh được trình bày trong Hình 5b cho thấy điện áp ngõ ra (trục x) tuyến tính với độ sâu của cảm biến. Sau

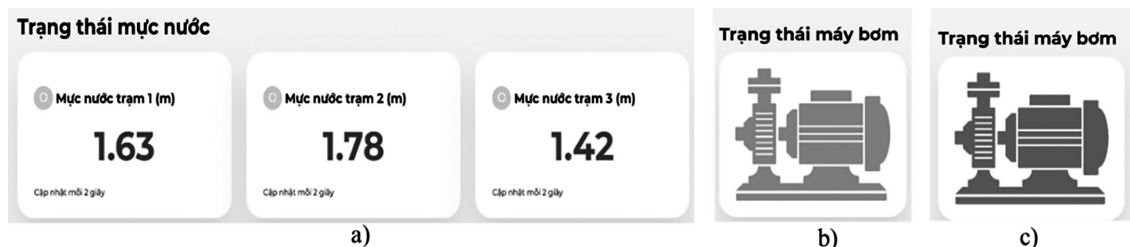
khi hiệu chỉnh cảm biến cho sai số ± 4 cm ở điều kiện nước tĩnh. Sai số này lớn hơn rất nhiều khi dòng chảy xuất hiện khi thủy triều lên xuống, ngập cục bộ hay dòng nước xoáy khi bơm.

3.2 Giám sát và thu thập dữ liệu mực nước trực tuyến

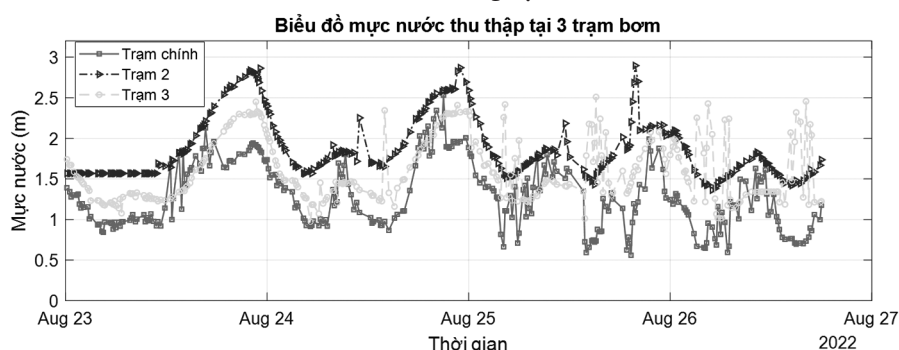
Sau khi thiết kế hoàn chỉnh các mạch điện được bố trí trong tủ điện nhựa 20x30 cm như minh họa trong Hình 6a và 6b và được lắp đặt tại các trạm bơm xả. Hình 6a minh họa vị trí lắp đặt tủ, cảm biến dòng điện và cảm biến đo mực nước tại trạm trung tâm.



Hình 6: a) Lắp đặt thực tế trạm 1, b) bố trí mạch hộp thu thập và điều khiển trạm 1 và b) bố trí mạch hộp thu thập dữ liệu trạm 2 và 3



Hình 7. Mực nước tại các trạm và trạng thái bơm trên ứng dụng: a) mực nước tức thời tại 3 trạm, b) bơm đang tắt và c) đang bật



Hình 8. Dữ liệu mực nước thu thập được

Sau khi đăng nhập vào ứng dụng web người vận hành có thể theo dõi thời gian thực mực nước tại các trạm so với mặt thềm và trạng thái bơm tại trạm trung tâm như minh họa trong Hình 7. Bơm có thể điều

khiển bật/tắt qua ứng dụng hoặc trực tiếp tại trạm. Điều này hữu dụng giúp người vận hành có thể giám sát và điều khiển hệ thống dễ dàng qua ứng dụng mà không cần phải trực tiếp đến trạm.

Bên cạnh đó, dữ liệu mực nước quá khứ cũng được lưu trữ và hiển thị trên ứng dụng dưới dạng đồ thị như Hình 8 giúp người vận hành cũng như nhà quản lý có thể quan sát, phân tích đánh giá hay đưa ra các dự báo hữu ích về tình hình ngập lụt tại thành phố Bạc Liêu trong tương lai. Tuy nhiên, riêng trạm bơm Ngô Gia Tự (Trạm 3), do cống ngầm hiện hữu là loại cống bê tông tròn, đường kính 0,6 m, khi vận hành lượng nước không kịp đổ về hầm bơm nên dữ liệu quá khứ (*đường màu xanh lá*) bị dao động khá lớn khi bơm hoạt động.

4. KẾT LUẬN

Bằng việc áp dụng hạ tầng IoTs và công nghệ điện tử hiện tại, nhóm tác giả đã thiết kế thành công một hệ thống cho phép nâng cấp thêm khả năng theo dõi thời gian thực mực nước cũng như điều khiển và giám sát trạng thái máy bơm xả cho các trạm bơm nước thải đang xuống cấp tại thành phố Bạc Liêu. Hệ thống đang hoạt động hiệu quả giúp tiết kiệm công sức đội ngũ vận hành. Mặc dù còn tồn tại một số nhược điểm nhưng hệ thống đã mở ra một số hướng cải tiến rất thú vị trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Acosta et al., “An IoT-based scalable river level monitoring platform,” *International Journal of Sensor Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 263-272, 2022.
- [2] C. Moreno et al., “RiverCore: IoT device for river water level monitoring over cellular communications,” *Sensors*, vol. 19, no. 1, p. 127, 2019.
- [3] Kumar, N., Nair, A.S., Indu, J., “Design of IOT-Based Flood Warning System,” *Innovative Trends in Hydrological and Environmental Systems. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 234, 2022, doi: 10.1007/978-981-19-0304-5_12.
- [4] Jan, F., Min-Allah, N., Saeed, S., Iqbal, S.Z., Ahmed, R., “IoT-Based Solutions to Monitor Water Level, Leakage, and Motor Control for Smart Water Tanks.” *Water*, vol. 14, no. 309, 2022, doi:10.3390/w14030309.
- [5] Firebase, Accessed on: Aug. 24, 2022, [Online]. Available: <https://firebase.google.com>.
- [6] ThingSpeak, Accessed on: Aug. 24, 2022, [Online]. Available: <https://thingspeak.com>.
- [7] Pereira, T.S.R., de Carvalho, T.P., Mendes, T.A., Formiga, K.T.M., “Evaluation of Water Level in Flowing Channels Using Ultrasonic Sensors,” *Sustainability*, vol. 14, no. 5512, 2022, doi: 10.3390/su14095512.
- [8] Hussen Hajjaj, S.S., Hameed Sultan, M.T., Moktar, M.H., Lee, S.H., “Utilizing the Internet of Things (IoT) to Develop a Remotely Monitored Autonomous Floodgate for Water Management and Control.” *Water*, vol. 12, no. 502, 2020, doi: 10.3390/w12020502.
- [9] Qiao, G., Yang, M., Wang, H., “A Water Level Measurement Approach Based on YOLOv5s,” *Sensors*, vol. 22, no. 3714, 2022, doi: 10.3390/s22103714.
- [10] STC013 Dechang Electronics Co. Ltd, Accessed on: Aug. 24, 2022, [Online]. Available: <https://en.yhdc.com/product/SCT013-401.html>.
- [11] T.-C. Hou, L.-H. Liu, Y.-K. Lan, Y.-T. Chen, and Y.-S. Chu, “An Improved Network Time Protocol for Industrial Internet of Things,” *Sensors*, vol. 22, no. 13, p. 5021, 2022.