ỨNG DỤNG IoT XÂY DỰNG MÔ HÌNH GIÁM SÁT ĐIỆN NĂNG CHO KHU VỰC KHAI THÁC THAN HẦM LÒ

Đỗ Văn Vang*, Nguyễn Thái Hoàng

Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh, Phường Yên Thọ, Quảng Ninh, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO
CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học
Ngày nhận bài: 01/6/2026
Ngày nhận bài sửa: 16/7/2026
Ngày chấp nhận đăng: 20/7/2026
*Tác giả liên hệ:
Email: vangdkh1@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày việc thiết kế và triển khai một hệ thống giám sát năng lượng điện dựa trên ứng dụng Internet of Things (IoT) cho môi trường khai thác than hầm lò. Hệ thống được đề xuất cho phép thu thập, truyền tải và phân tích theo thời gian thực các thông số điện bao gồm điện áp, dòng điện, công suất và điện năng tiêu thụ. Do điều kiện khắc nghiệt trong mỏ hầm lò như độ ẩm cao, nhiều bụi và kết nối hạn chế, một kiến trúc bền vững sử dụng các thiết bị IoT biên (edge devices) và các giao thức truyền thông công suất thấp (Wifi) được đề xuất. Hệ thống tích hợp các nút cảm biến dựa trên vi điều khiển ESP32 kết hợp với các module đo lường điện năng để thu thập dữ liệu điện từ các phụ tải. Dữ liệu được truyền về máy chủ đám mây để lưu trữ, trực quan hoá và phát hiện bất thường. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống đạt được hiệu năng ổn định với sai số đo nhỏ (<5%) và độ trễ gần thời gian thực (<2 giây). Giải pháp đề xuất góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng, cải thiện an toàn vận hành và hỗ trợ quản lý năng lượng thông minh trong môi trường khai thác hầm lò.

Từ khóa: *Cảm biến, Giám sát điện năng, IoT.*

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngành khai thác than hầm lò là một trong những ngành sử dụng năng lượng trọng điểm của Việt Nam, với mức tiêu thụ lượng điện năng rất lớn cho các hệ thống vận tải, thông gió, bơm thoát nước và chiếu sáng. Theo thống kê thực tế, chi phí điện năng chiếm từ 30-45% tổng chi phí vận hành của một mỏ than [1]. Tuy nhiên, việc giám sát và quản lý điện năng hiện nay vẫn còn nhiều hạn chế: dữ liệu tiêu thụ điện thường được thu thập thủ công theo ca làm việc; Không có khả năng giám sát thời gian thực; Khó phát hiện sớm sự cố như quá tải hoặc rò điện; Thiếu hệ thống cảnh báo...Sự phát triển của IoT mang lại giải pháp hiệu quả cho bài toán này, cho phép kết nối các thiết bị đo lường, thu thập dữ liệu tự động và phân tích thông minh, giúp nâng cao hiệu quả quản lý năng lượng và đảm bảo an toàn trong môi trường mỏ hầm lò có khí bụi nổ [2].

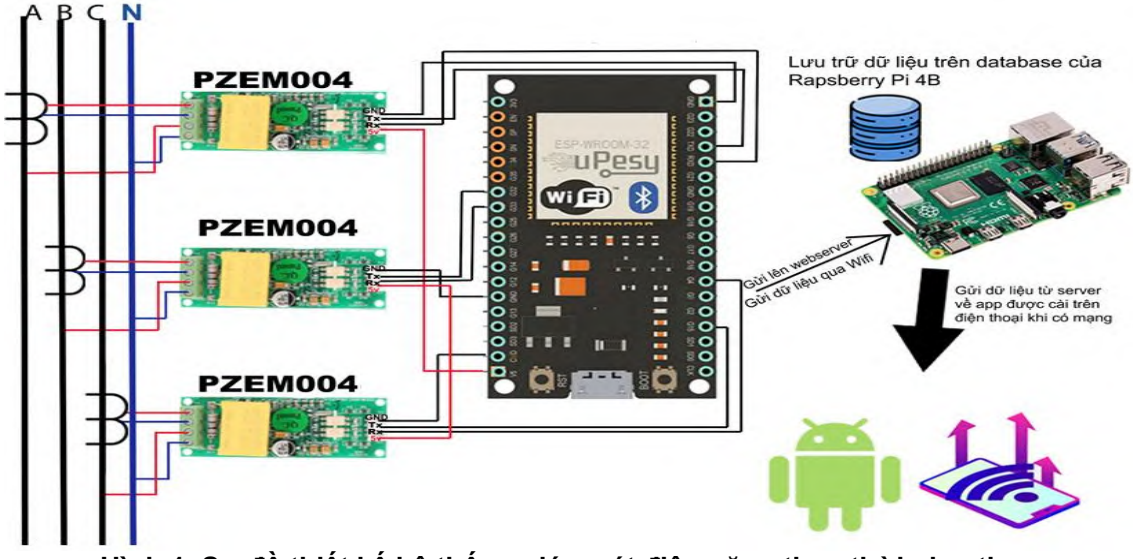
Trong nội dung bài báo này, nhóm tác giả xây dựng một mô hình hệ thống giám sát điện năng theo thời gian thực trong môi trường mỏ hầm lò, đảm bảo: Độ tin cậy cao; Khả năng hoạt động trong môi trường khắc nghiệt; Truyền dữ liệu ổn định; Khả năng mở rộng hệ thống. Hệ thống giám sát năng lượng được áp dụng tính toán cho Phân xưởng khai thác 3 Công ty Than Dương Huy – TKV.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Giới thiệu tổng quan về hệ thống IoT

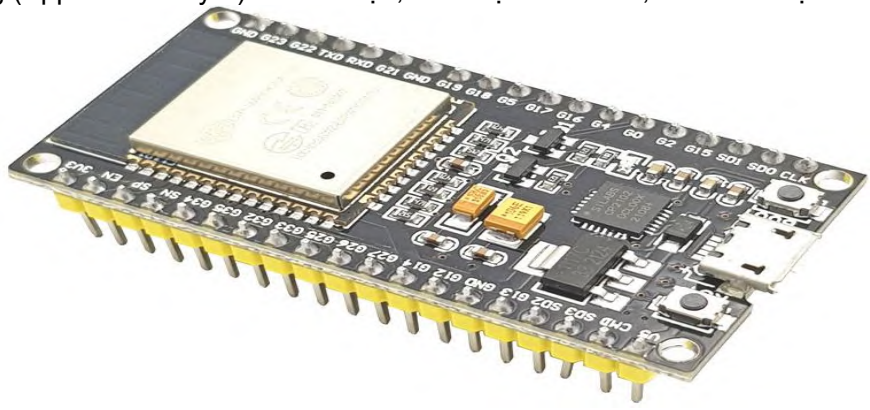
IoT cho phép kết nối các thiết bị cảm biến, thu thập và truyền dữ liệu qua mạng để phân tích và xử lý. Nhiều nghiên cứu đã thực hiện liên quan đến giám sát năng lượng và ứng dụng IoT trong công nghiệp: Trong lĩnh vực công nghiệp: các nghiên cứu sử dụng cảm biến dòng điện SCT-013 kết hợp Arduino/ESP32 để đo điện năng [3]; Các hệ thống giám sát năng lượng trong nhà máy [4]; Giám sát điện năng trong lưới điện thông minh (Smart Grid) [5], [6]; Hệ thống ứng dụng IoT trong môi trường nguy hiểm [7]; Các công trình nghiên cứu trên chủ yếu áp dụng cho môi trường đô thị. Tuy nhiên, trong môi trường mỏ hầm lò có khí bụi nổ, các nghiên cứu còn hạn chế do: Điều kiện truyền thông

khó khăn; Yêu cầu an toàn cao (chống cháy nổ); Môi trường nhiễm điện và bụi bẩn lớn. Do đó, cần một giải pháp chuyên biệt phù hợp với điều kiện thực tế của mỏ than. Nội dung nghiên cứu trong phần này đề xuất mô hình giám sát dữ liệu của các nút hệ thống qua một trang web và lưu trữ dữ liệu cảm biến trong cơ sở dữ liệu của máy chủ. Mô hình giám sát điện năng theo thời gian thực được đề xuất trong hình 1.



Hình 1. Sơ đồ thiết kế hệ thống giám sát điện năng theo thời gian thực

Cấu trúc hệ thống được xây dựng theo mô hình 3 lớp:
- Lớp cảm biến (Perception Layer): thu thập dữ liệu điện năng gồm cảm biến dòng, áp, công suất.
- Lớp truyền thông (Network Layer): ESP32 + Wifi, truyền dữ liệu về server.
- Lớp ứng dụng (Application Layer): lưu dữ liệu, hiển thị dashboard, cảnh báo sự cố.



Hình 2. Module ESP32

Phần cứng của hệ thống sử dụng các thành phần [8]:
- ESP32 Microcontroller: xử lý dữ liệu và truyền thông
- Cảm biến điện năng PZEM-004/SCT-013: đo điện áp, dòng điện, công suất
- Power supply module: cung cấp nguồn ổn định.



Hình 3. Module giám sát điện năng PZEM004

Mô hình truyền thông sử dụng phương thức truyền thông:

- Wifi: khi có mạng gần

Dữ liệu được đóng gói dạng JSON:

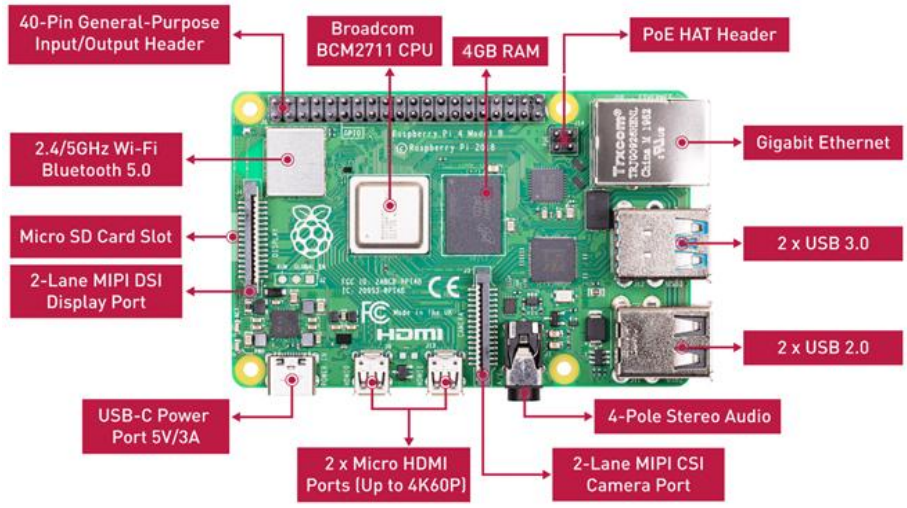
{ "voltage": 220,
"current": 5.2,
"power": 1144,
"energy": 12.5}

Cấu trúc phần mềm, hệ thống giám sát được thực hiện dựa trên:

- Nền tảng IoT (Backend): Node.js / Python Flask

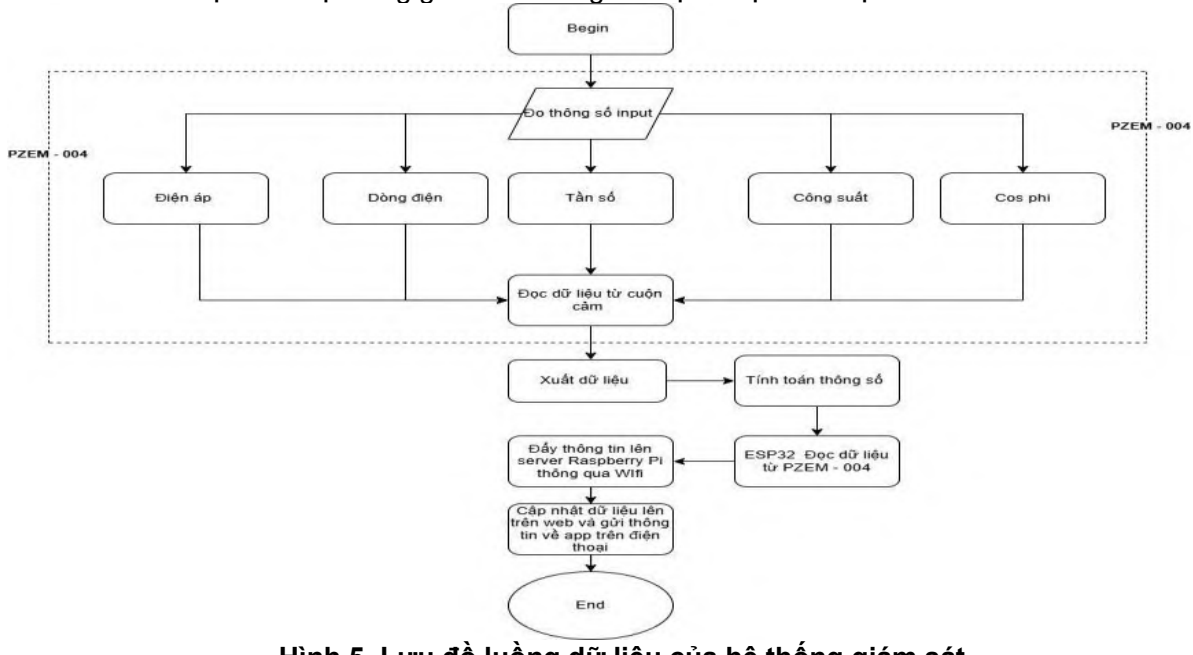
- Giao diện giám sát (Dashboard): Web-based UI (ReactJS / Grafana)

Trong hệ thống giám sát điện năng, sử dụng Raspberry Pi để nhận dữ liệu từ các thiết bị ESP32, lưu trữ dữ liệu và cung cấp giao diện giám sát. Raspberry cũng có thể xử lý cảnh báo khi có bất thường như: quá dòng, mất pha, sụt áp. Khả năng mở rộng của Raspberry với dung lượng RAM 4GB, thiết bị đủ mạnh để chạy nhiều dịch vụ cùng lúc như giám sát, ghi log, phân tích dữ liệu và có thể triển khai các chức năng nâng cao như AI phân tích dữ liệu phụ tải. Nhóm tác giả sử dụng Raspberry Pi 4B vì những ưu điểm sau: chi phí hợp lý, kích thước nhỏ gọn, phù hợp với môi trường không gian hạn chế; Hoạt động ổn định 24/7, tiêu thụ điện năng thấp (3-5 W); Dễ cập nhật phần mềm, bảo trì và thay thế; Cộng đồng phát triển mạnh, dễ tìm tài liệu hướng dẫn và phần mềm mã nguồn mở hỗ trợ.



Hình 4. Hình ảnh thực tế Rasphberry Pi4 Model B

Lưu đồ thuật toán hệ thống giám sát thời gian thực được thể hiện trên hình 5.



Hình 5. Lưu đồ luồng dữ liệu của hệ thống giám sát

2.2. Xây dựng mô hình giám sát

a) Node cảm biến

Mỗi node IoT được gắn tại thiết bị tiêu thụ điện:

- Đo dữ liệu theo chu kỳ 1 - 5 s.
- Xử lý sơ bộ tại ESP32.

b) Xử lý dữ liệu

Các bước xử lý:

- Tính toán công suất tức thời.
- Tích luỹ điện năng tiêu thụ (kWh).
- Phát hiện bất thường.

c) Hệ thống cảnh báo

Hệ thống cảnh báo: Quá tải, sụt áp, thiết bị tiêu thụ bất thường.

Cảnh báo được gửi qua: web dashboard

Các bước xử lý và cảnh báo được thể hiện ở nội dung code chương trình.

Mô hình giám sát điện năng được áp dụng cho phân xưởng khai thác 3 tại Công ty than Dương Huy, biết: Máy biến áp TBKP 630-6/0,69kV, cosφ = 0,85 cấp điện cho 12 phụ tải làm việc.

Bảng 1. Thông số phụ tải của Phân xưởng khai thác 3

STT	Tên thiết bị	Công suất $P_{đm}$, kW	Cosφ	STT	Tên thiết bị	Công suất $P_{đm}$, kW	Cosφ
1	Bơm dung dịch BRW 80 số 1	37	0,81	7	Tời điện JHS-20	22	0,9
2	Bơm dung dịch BRW 80 số 1	37	0,81	8	Tời điện JD1.1	11,4	0,87
3	Quạt JBT-52	11	0,87	9	Tời điện JD1.1	11,4	0,87
4	Băng tải B650 số 2	22	0,9	10	Máng cào SKAT-80	18,5	0,9
5	Băng tải B650 số 3	30	0,89	11	Băng tải B650 số 1	18,5	0,9
6	Động cơ phanh tời	0,4	0,8	12	Máng cào SGB 620/40	40	0,9
Tổng công suất của phụ tải		P=S.cosφ=630.0,85 =535,5 kW					

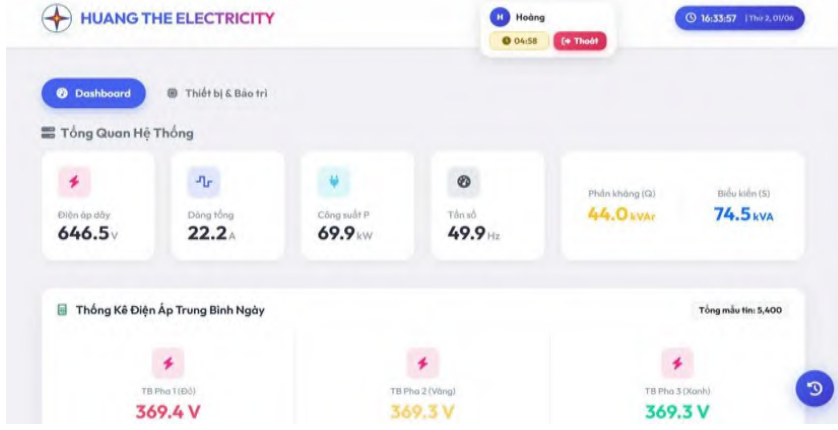
Thời giam làm việc của phụ tải được chia làm 3 ca: ca 1 từ 7 h đến 15 h; ca 2 từ 15 h đến 23 h; ca 3 từ 23 h đến 7 h sáng. Một tuần làm việc 6 ngày, nghỉ ngày Chủ nhật.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hệ thống giám sát điện năng tại Phân xưởng khai thác 3 sử dụng webserver xây dựng theo tên miền:

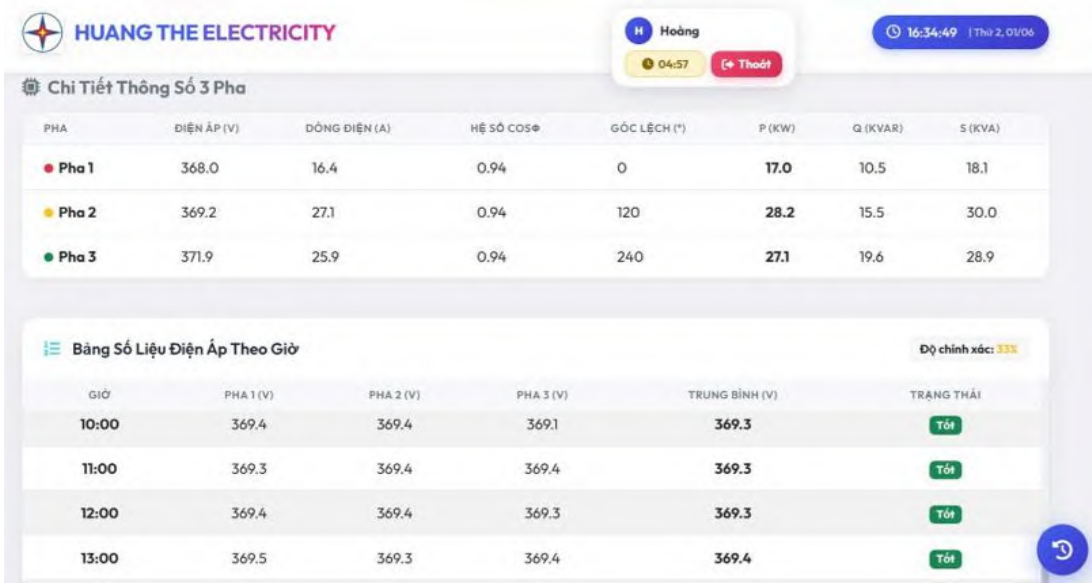
https://hoangqui.servequake.com:8080/login

(Trang web hệ thống giám sát điện năng được nhóm tác giả thiết kế). Do đó từ bất kỳ thiết bị nào có Internet (máy tính, điện thoại) người dùng sau khi đăng nhập trực tiếp vào đường link hoặc quét mã QR có thể xem tình trạng tiêu thụ điện năng của phụ tải theo thời gian thực, tải báo cáo dưới dạng Excel hoặc PDF của từng ngày, theo dõi lịch sử cảnh báo và mức tiêu thụ.



Hình 6. Kết quả hiển thị thông số cơ bản mạng hạ áp

Từ Hình 6 ta thấy được các thông số tổng quan của mạng như điện áp dây, dòng điện tổng, công suất tác dụng, công suất phản kháng và tần số được thu thập tự động. Các giá trị thông số này đều nằm trong giới hạn cho phép theo qui định vận hành của mạng hạ áp.



Hình 7. Kết quả hiển thị thông số trên từng pha

Từ Hình 7 nhận thấy, điện áp trên các pha dao động không nhiều, góc lệch giữa các pha cân bằng, dòng điện chạy trên pha 1 là thấp nhất (16,4 A), dòng điện chạy trên pha 3 là cao nhất (25,9 A), trạng thái làm việc của tải tốt.



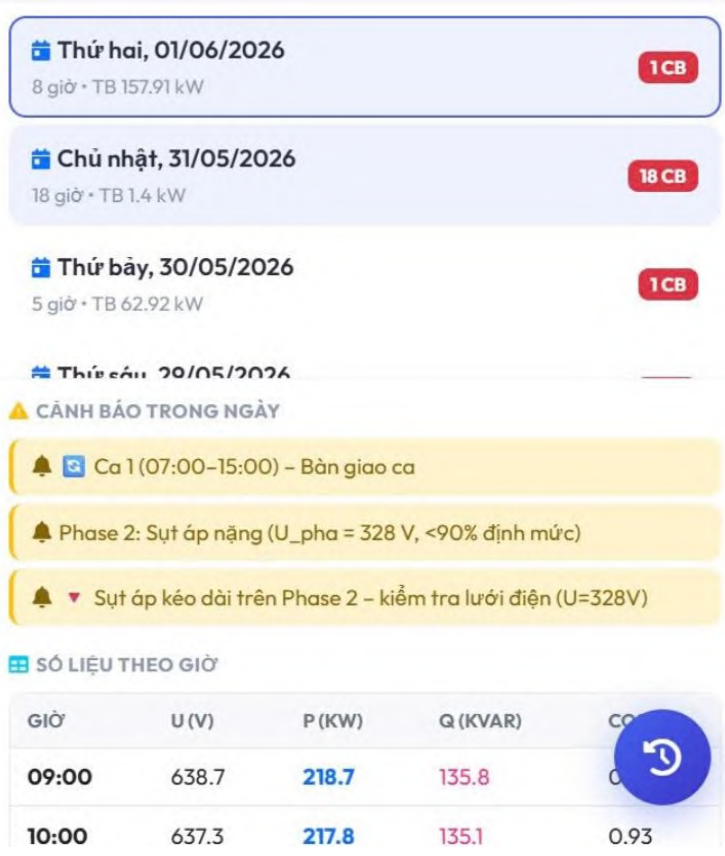
Hình 8. Biểu đồ phụ tải ngày làm việc

Từ Hình 8, có thể thấy rằng lượng công suất tiêu thụ lớn nhất của tải lúc 13 h, và lượng tiêu thụ công suất nhỏ nhất lúc 12 h, biểu đồ phụ tải tương đối bằng phẳng điều đó chứng tỏ công ty than Dương Huy đã có sự bố trí thời gian làm việc tương đối hợp lý.



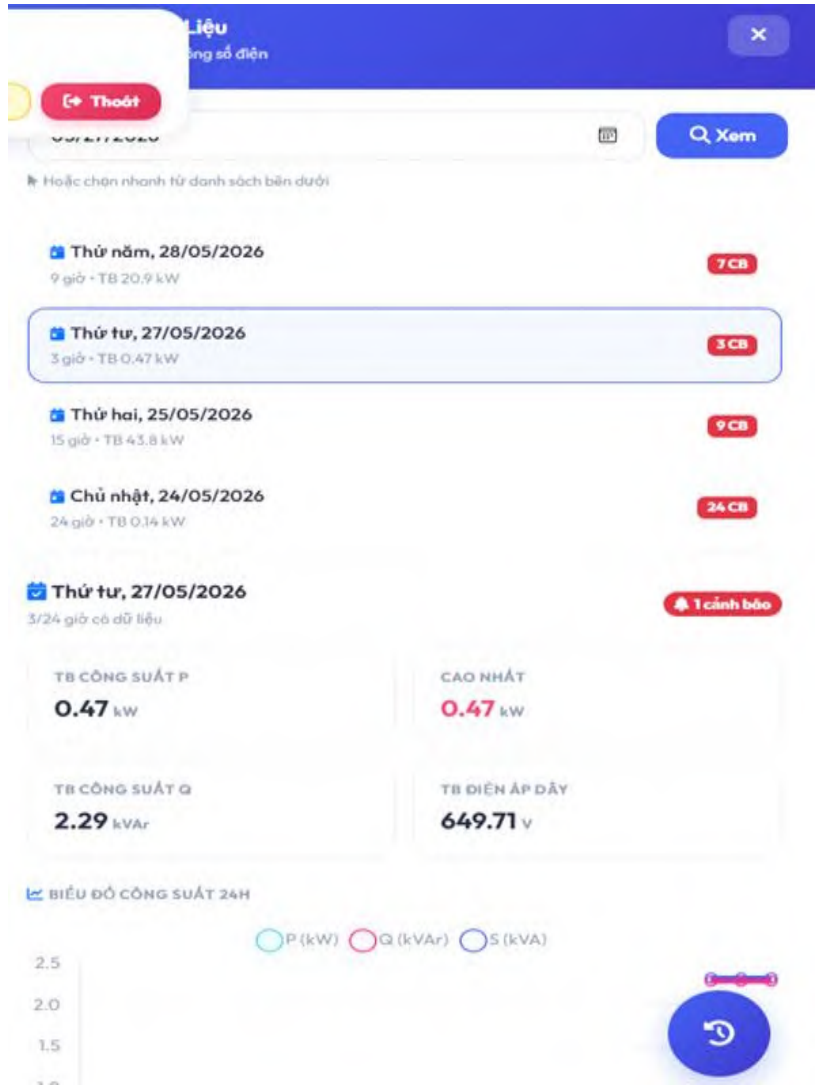
Hình 9. Biểu đồ phụ tải tuần làm việc

Hình 9 cho thấy mức độ tiêu thụ công suất của các ngày trong tuần, trong khoảng thời gian từ thứ Hai đến thứ Sáu thì mức độ tiêu thụ công suất của phụ tải cao nhất là thứ Sáu, mức độ tiêu thụ công suất giảm dần khi tiến sát về ngày Chủ nhật.



Hình 10. Kết quả hiển thị cảnh báo lỗi

Trong quá trình làm việc, mạng hạ áp mỏ hầm không tránh khỏi các chế độ làm việc bất thường như quá tải, sụt áp, rò điện... Trên Hình 10, cho thấy tình trạng sụt áp trên pha 2 mà hệ thống ghi nhận được là 328 V thấp hơn so với quy định vận hành.



Hình 11. Lịch sử tiêu thụ điện năng

Từ Hình 11, nhận thấy lịch sử tiêu thụ điện năng hàng ngày, hàng tuần được hệ thống lưu lại.

Nhìn chung, các kết quả phân tích cho thấy hệ thống đã thực hiện được các chức năng giám sát thời gian thực, với sai số đo điện áp <3%, sai số dòng điện <5%, độ trễ truyền dữ liệu 1-2 s, tăng khả năng phát hiện sự cố, giảm chi phí nhân lực. Bên canh đó, hệ thống giám sát còn phụ thuộc vào chất lượng truyền thông, cần tối ưu năng lượng cho node IoT và yêu cầu thiết bị đạt chuẩn an toàn mỏ.

4. KẾT LUẬN

➢ Trong nghiên cứu này đã đề xuất và triển khai thành công hệ thống giám sát điện năng dựa trên IoT cho môi trường khai thác than hầm lò. Dữ liệu của hệ thống được cập nhật theo thời gian thực với độ chính xác cao và khả năng hoạt động trong điều kiện khắc nghiệt. Hệ thống thực hiện được việc cảnh báo các chế độ làm việc không bình thường;

➢ Thông qua biểu đồ phụ tải mà hệ thống cập nhật người vận hành có thể: tối ưu hoá phụ tải để giảm chi phí điện năng bằng cách bố trí thời gian làm việc tránh giờ cao điểm; lập kế hoạch sửa chữa, bảo dưỡng; nâng cao hiệu quả quản lý và vận hành an toàn;

➢ Các kết quả thu được đã chứng minh tính phù hợp và hiệu quả của việc ứng dụng công nghệ IoT trong quản lý, giám sát vận hành hệ thống mạng điện mỏ hầm lò tại Việt Nam.

➢ Trong tương lai, nhóm nghiên cứu sẽ mở rộng ứng dụng AI để dự đoán tiêu thụ điện năng và phát hiện sớm các chế độ làm việc bất thường cũng như giám sát khí mỏ, mở rộng quy mô toàn mỏ ❐

TÀI LIỆU THAM KHẢO
[1] *Thống kê năng lượng Việt Nam*, https://vneec.gov.vn/tin-tuc/tai-lieu/t42793/, 2023.
[2] Bộ Công Thương, *Quy chuẩn Quốc gia QCVN 01:2011/BCT - An toàn trong khai thác than hầm lò*, 2011.
[3] Kurniawan, Agus*, Internet of Things Projects with ESP32: Build exciting and powerful IoT projects using the all-new Espressif ESP32*, Packt Publishing Ltd, 2019.
[4] Akseer Ali Mirani et al, " *Industrial IoT-Based Energy Monitoring System: Using Data Processing at Edge*", 5, 608–633, 2024, doi: https://doi.org/10.3390/iot5040027, [Google Scholar].
[5] Patil, V. H., et al. "Design and implementation of an IoT-based smart grid monitoring system for real-time energy management." *Int. J. Comput. Exp. Sci. Eng 11.1,* 2024, [Google Scholar].
[6] Srivastava, Alakh, et al. "Design and Implementation of an IoT-Based Smart Grid Monitoring System for Real-Time Energy Management." *2025 IEEE 7th International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA), IEEE*, 2025.
[7] IoT-Based Monitoring System for Hazardous Industrial Environments. https://www.mdpi.com /journal/sensors, 2024.
[8] Pradhan, Debi Prasad, et al. "IoT-Based Smart Energy Monitoring System with Using ESP32 and PZEM-004T." *2025 2nd International Conference on Circuits, Power and Intelligent Systems (CCPIS). IEEE*, 2025.

LỜI CẢM ƠN
Nội dung bài báo được hỗ trợ từ đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường của Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh, theo Quyết định số 741/QĐ-ĐHCNQN ngày 10 tháng 10 năm 2025.

APPLICATION OF IoT IN DEVELOPING AN ELECTRICAL POWER MONITORING MODEL FOR UNDERGROUND COAL MINING AREAS

Van Vang Do*, Thai Hoang Nguyen

Quang Ninh University of Industry, Yen Tho W., Quang Ninh, Vietnam

ARTICLE INFOR
TYPE: Research Article
Received: 01/6/2026
Revised: 16/7/2026
Accepted: 20/7/2026
* Corresponding author:
Email: vangdkh1@gmail.com

ABSTRACT
This paper presents the design and implementation of an IoT-based electrical energy monitoring system for underground coal mining environments. The proposed system enables real-time acquisition, transmission, and analysis of electrical parameters including voltage, current, power, and energy consumption. Due to the harsh conditions in underground mines such as high humidity, dust, and limited connectivity, a robust architecture using IoT edge devices and low-power communication protocols (WiFi) is proposed. The system integrates sensor nodes based on ESP32 microcontrollers with energy measurement modules to collect electrical data from mining equipment. Data is transmitted to a cloud server for storage, visualization, and anomaly detection. Experimental results demonstrate that the system achieves stable performance with low measurement error (<5%) and near real-time latency (<2 seconds). The proposed solution enhances energy efficiency, improves operational safety, and supports intelligent energy management in underground mining environments.

Keywords: *Sensor, Power monitoring, IoT.*

@ Vietnam Mining Science and Technology Association