

KỶ YẾU

HỘI NGHỊ KHOA HỌC

**TRƯỜNG CÔNG NGHỆ VÀ KỸ THUẬT
LẦN 4 NĂM 2024**

**THE 4TH CONFERENCE ON TECHNOLOGIES
FOR THE FUTURE (CTF)**

ĐÀ NẴNG, THÁNG 11 NĂM 2024

MỤC LỤC BÁO CÁO

LĨNH VỰC ĐIỆN ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HOÁ

Development trend of electric vehicles: Opportunities and challenges	1
	<i>Pham Quoc Thai</i>
Phân tích năng lượng và độ trễ của VMEC đối với NOMA và tán xạ ngược	3
	<i>Dinh-Phong Truong*, Van-Truong Truong, Van-Binh Phan, and Dac-Binh Ha</i>
Mạng cảm biến không dây tích hợp công nghệ UAV/điện toán biên di động và truyền thông tán xạ ngược	9
	<i>Nguyễn Ngọc Rạng^{1,2}, Nguyễn Anh Quốc Huy², Hà Đắc Bình^{3,*}</i>
Ứng dụng học máy trong việc dự đoán trạng thái sức khỏe SOH của Pin Lithium ion.....	19
	<i>Nông Trọng Tú*, Dương Văn Hoà</i>
Robot Vệ Sinh Tự Động Sử Dụng công nghệ LiDAR.....	25
	<i>Trần Văn Tín, Phan Thanh Hùng*, Trần Thuận Hoàng</i>
Thiết kế và trình diễn hệ thống điều khiển chuỗi thông minh cho phương tiện giao thông nhanh cá nhân	31
	<i>Phạm Quốc Thái¹, Lưu Đức Lịch¹, Hoàng Thắng¹, Huỳnh Đức Trí¹, Phan Văn Bình², Nguyễn Đức Hoàng^{2,*}</i>
Khảo sát dung lượng bảo mật mạng điện toán biên di động NOMA sử dụng kỹ thuật gây nhiễu chủ động	37
	<i>Trương Văn Trương^{1,*}, Nguyễn Thành Nam²</i>

LĨNH VỰC CƠ KHÍ, XÂY DỰNG

Impact of steel-concrete slippage on cfst column load capacity under torsional loading conditions.....	45
	<i>My PHAM</i>
Nghiên cứu giải pháp tháo dỡ sớm cốt pha nhôm trong thi công nhà cao tầng: Phân tích và ứng dụng thực tế.....	47
	<i>Phạm Quang Nhật¹ và Phạm Phú Anh Huy^{1,2,*}</i>
Nghiên cứu ảnh hưởng của khối xây chèn đến sự làm việc của khung bê tông cốt thép có xét đến ảnh hưởng của lỗ cửa.....	59
	<i>Lê Cao Vinh¹, Nguyễn Văn Tiền², Phạm Phú Anh Huy^{1,3,*}</i>
Giải pháp thông minh xử lý rác thải hữu cơ	73
	<i>Đặng Ngọc Sỹ¹, Vũ Dương², Hồ Ngọc Huy^{1,*}, Đinh Hữu Quang¹, Võ Minh Long¹, Nguyễn Hữu Chiến¹, Nguyễn Duy Linh¹</i>
Phân tích và đánh giá mức độ rủi ro đối với kết cấu khung thép liên kết dàn hồi chịu tải trọng tĩnh theo mô hình mờ.....	81
	<i>Trần Thanh Việt</i>

LĨNH VỰC MÔI TRƯỜNG, KHOA HỌC TỰ NHIÊN, KIẾN TRÚC, MỸ THUẬT

Hydrogen Diffusivity in Brine and Water-Saturated Pores: Implications for Underground Hydrogen Storage 87

Hai Hoang^{1,}, Tu Khai Nam Nguyen¹, Halla Kerkache, Pierre Cezac², Salaheddine Chabab², Guillaume Galliero², Antoine Geoffroy-Neveux³, Carlos Nieto-Draghi³*

Đánh giá mức độ ô nhiễm và nguồn gốc của kim loại trong bụi đường ở khu công nghiệp lớn nhất thành phố Đà Nẵng và vùng phụ cận. đề xuất hướng quản lý các tác động đến môi trường và sức khỏe con người..... 89

Nguyễn Thị Hồng Tình^{}, Trần Bá Quốc*

Khảo sát hiện tượng điện trở âm trên linh kiện bán dẫn GaAs cấu trúc P-I-N..... 101

Lê Thị Thu Thùy^{}, Nguyễn Phước Thế, Huỳnh Ngọc Toàn*

Thiết kế đồ họa với công nghệ thân thiện môi trường: xu hướng và thực tiễn 107

Nguyễn Thị Swong^{}, Lê Phương Hiếu*

Giải pháp thiết kế vỏ bao che nhằm nâng cao hiệu quả năng lượng cho văn phòng cao tầng 117

Lương Xuân Hiếu

Ứng dụng của trí tuệ nhân tạo trong thiết kế nội thất nhà thông minh..... 125

Phan Hạnh Liên

Development trend of electric vehicles: Opportunities and challenges

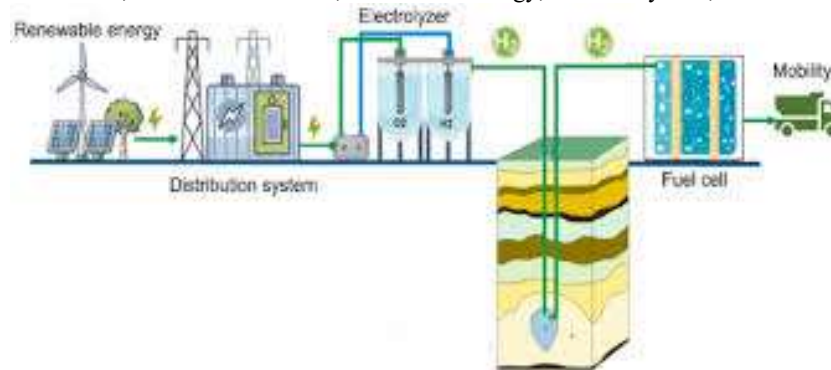
Pham Quoc Thai

Division of Automotive Engineering, University of Science and Technology – The University of Danang, Danang, Vietnam

Email: pqthai@dut.udn.vn

Abstract. Recently, the depletion of fossil fuels and worsening environmental problems have created an urgent need to adopt renewable energy and reduce greenhouse gas emissions. This has led to the broader adoption of environmentally friendly transportation options, such as electric vehicles (EVs). This paper analyzes new trends and emerging EV technologies, including advancements in charging, control systems, communication, connected vehicles, and autonomous driving. Furthermore, the opportunities, challenges, and prospects for these emerging EV technologies are systematically discussed. The findings provide objective insights into the current directions of EV research. This paper will also highlight potential areas for future development and research collaborations related to EVs.

Keywords: Electric Vehicles, Connected Vehicles, Renewable Energy; Control System; Autonomous Vehicles.



Energy cycle for pure UHS

Phân tích năng lượng và độ trễ của VMEC đối với NOMA và tán xạ ngược

Energy and Latency Analysis of Vehicular Mobile Edge Computing Network with Non-orthogonal Multiple Access and Backscatter Communication Schemes

Dinh-Phong Truong*, Van-Truong Truong, Van-Binh Phan, and Dac-Binh Ha

School of Engineering and Technology, Duy Tan University, Da Nang, Vietnam.

**Email: truongdinhphong@dtu.edu.vn*

Abstract: Công trình này nghiên cứu hiệu suất của mạng điện toán biên di động dành cho xe cộ (MEC) đa truy cập phi trực giao (NOMA) về mặt xác suất tính toán thành công SCP. Trong công trình này, chúng tôi xem xét một hệ thống trong đó nhiều người dùng bị hạn chế về tài nguyên trên các phương tiện kết hợp áp dụng NOMA giảm tải tác vụ phụ của họ cho các trạm cơ sở bên đường bằng cách sử dụng truyền thông tán xạ ngược. Mỗi người dùng triển khai sơ đồ giảm tải một phần bằng cách thu năng lượng RF từ trạm gốc để thực hiện thực thi cục bộ và giảm tải tác vụ phụ còn lại cho máy chủ tại trạm gốc. Tiếp theo, biểu thức dạng đóng gần đúng của xác suất tính toán thành công được xây dựng bằng cách cùng nhau xem xét năng lượng thu được và độ trễ. Ngoài ra, tác động của các tham số chính đến hiệu suất hệ thống được nghiên cứu để tiết lộ hành vi của hệ thống được đề xuất. Cuối cùng, kết quả mô phỏng máy tính được cung cấp để xác nhận phân tích của chúng tôi.

Keywords: Mạng phương tiện, điện toán biên di động, đa truy cập phi trực giao, năng lượng RF, xác suất tính toán thành công.

Abstract. This work studies the performance of a non-orthogonal multiple access (NOMA) vehicular mobile edge computing (MEC) network in terms of successful computation probability. In this work, we consider a system in which multiple resource-constrained users on vehicles paired applying NOMA offload their subtasks to roadside base stations by utilizing backscatter communication. Each user deploys a partial offloading scheme by harvesting RF energy from the base station to implement local execution and offloading the remaining subtask to the server at the base station. Next, the approximate closed-form expression of successful computation probability is derived by jointly considering the harvesting energy and latency. In addition, the impact of key parameters on system performance is investigated to reveal the behaviors of our proposed system. Finally, the computer simulation results are provided to confirm our analysis.

Keywords: Vehicular network, mobile edge computing, non-orthogonal multiple access, RF energy harvesting, successful computation probability.

Giới thiệu

Điện toán biên di động xe cộ (VMEC-Vehicular mobile edge computing) đề cập đến một mô hình trong đó tài nguyên điện toán được triển khai ở rìa mạng, gần với người dùng phương tiện giao thông, để cung cấp các dịch vụ có độ trễ thấp và băng thông cao [1-2]. Sự tích hợp này thúc đẩy tính di động và sự hiện diện phổ biến của các phương tiện, chẳng hạn như ô tô, xe buýt và xe tải, để tạo ra cơ sở hạ tầng điện toán phân tán và năng động. Sự tích hợp của VMEC và Internet of Things (IoT) được đề xuất trong đó các phương tiện hoạt động như cảm biến di động để giám sát đô thị, thu thập dữ liệu môi trường, v.v. [3]. Những cảm biến di động có tài nguyên hạn chế này có thể chuyển tác vụ của chúng sang các trạm cơ sở bên đường để đáp ứng yêu cầu thời gian thực. Có ba loại cơ chế giảm tải: giảm tải toàn bộ, giảm tải một phần và giảm tải động. Sơ đồ giảm tải một phần đề cập đến chiến lược chỉ giảm tải một phần tác vụ tính toán từ thiết bị di động sang máy chủ biên gần đó để xử lý. Cách tiếp cận này cân bằng tải giữa thiết bị di động và máy chủ biên, tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên và giảm độ trễ.

Giao tiếp tán xạ ngược là một kỹ thuật liên lạc không dây cho phép các thiết bị truyền dữ liệu bằng cách phản xạ các tín hiệu RF hiện có thay vì tạo ra tín hiệu RF của riêng chúng [4]. Công nghệ này cung cấp một cách tiếp cận đầy hứa hẹn để cho phép kết nối năng lượng thấp, chi phí thấp và mở rộng phạm vi phủ sóng, đặc biệt trong các tình huống mà hiệu quả sử dụng năng lượng và yêu cầu phần cứng tối thiểu là rất quan trọng. Trong khi đó, tần số vô tuyến (RF) thu năng lượng là một quá trình thu giữ và chuyển đổi năng lượng RF xung quanh từ tín hiệu không dây thành năng lượng điện có thể sử dụng được [5]. Công nghệ này đặc biệt hữu ích để cung cấp năng lượng cho các thiết bị sử dụng năng lượng thấp như cảm biến, thiết bị IoT và các thiết bị điện tử nhỏ mà không cần đến pin truyền thống. Việc thu năng lượng RF có tiềm năng đáng kể để cung cấp năng lượng cho số lượng thiết bị điện tử tiêu thụ điện năng thấp ngày càng tăng trong một thế giới ngày càng kết nối, góp phần tạo ra các giải pháp năng lượng bền vững và thuận tiện hơn. Hơn nữa, NOMA là một công nghệ đa truy cập tiên tiến được sử dụng trong các hệ thống truyền thông không dây. Không giống như các sơ đồ đa truy cập trực giao truyền thống (FDMA, TDMA,

CDMA), trong đó những người dùng khác nhau được phân bổ các dải tần, khe thời gian hoặc mã riêng biệt để tránh nhiễu, NOMA cho phép nhiều người dùng chia sẻ cùng một tài nguyên thời gian, tần số và mã bằng cách tận dụng sự khác biệt về mức năng lượng [6]. Công trình [7] đã nghiên cứu sự kết hợp của sơ đồ NOMA đường lên với việc thu năng lượng RF cho hệ thống MEC. Sự tích hợp của NOMA và truyền thông tán xạ ngược đã được nghiên cứu trong [8-9]. Công trình [10] đã đề xuất một khung tối ưu hóa xen kẽ tiết kiệm năng lượng được NOMA hỗ trợ cho các giao tiếp cảm biến đường lên được cấp nguồn không dây được hỗ trợ tán xạ ngược trong các mạng xe cộ. Tuy nhiên, theo hiểu biết tốt nhất của chúng tôi, việc triển khai thu năng lượng RF, giao tiếp tán xạ ngược và kỹ thuật NOMA trong mạng VMEC vẫn chưa được xem xét. Trong công trình của mình, chúng tôi tập trung vào sự kết hợp giữa kỹ thuật thu hoạch năng lượng RF, giao tiếp tán xạ ngược và NOMA trong mạng VMEC với sơ đồ giảm tải một phần. Những đóng góp chính của bài viết này như sau:

- Chúng tôi đề xuất mô hình hệ thống NOMA VMEC dựa trên truyền thông tán xạ ngược thu năng lượng RF với sơ đồ giảm tải một phần.
- Chúng tôi rút ra biểu thức dạng đóng gần đúng của xác suất tính toán thành công bí mật (SCP) có tính đến năng lượng thu hoạch và độ trễ.
- Để tìm hiểu sâu hơn về hiệu suất của hệ thống này, chúng tôi điều tra tác động của các thông số quan trọng như hệ số phân chia nhiệm vụ, hệ số phản xạ tán xạ ngược, vận tốc xe và công suất truyền tải đến hiệu suất của hệ thống.

Phần còn lại của bài viết này được tổ chức như sau: Phần 2 mô tả hệ thống và mô hình kênh. Phân tích hiệu suất được trình bày trong Phần 3. Các kết quả bằng số được cung cấp trong Phần 4. Chúng tôi kết thúc công việc của mình trong Phần 5.

$$|h_{l_1}|^2 \leq \dots \leq |h_{l_m}|^2 \leq \dots \leq |h_{l_M}|^2 \leq |h_{l_{(M+1)}}|^2 \leq \dots \leq |h_{l_n}|^2 \leq \dots \leq |h_{l_N}|^2, l \in \{f, b\}$$

Để đơn giản, chúng tôi xem xét một cặp (V_m và V_n) với tư cách là người dùng đại diện. Thời gian khởi cho hệ thống này là T và với mỗi cặp được ký hiệu là τ .

Năng lượng thu được ở V_k ($k \in \{m, n\}$) được đưa ra bởi:

$$E_k^h = \eta(1 - \varepsilon_k)P_0|h_{fk}|^2\tau = \eta(1 - \varepsilon_k)P_0H_k\tau, \quad (1)$$

Ở đây η biểu thị hệ số chuyển đổi năng lượng ($0 < \eta \leq 1$),

ε_k là viết tắt của hệ số tán xạ ngược, $H_k \triangleq |h_{fk}|^2 \dots$

1. Mô hình hệ thống và kênh truyền

Như được minh họa trong Hình 1, chúng tôi xem xét hệ thống NOMA VMEC nhiều người dùng hỗ trợ giao tiếp tán xạ ngược. Hệ thống này bao gồm một trạm gốc (Ký hiệu là B), M là một cặp người dùng NOMA (N cặp người dùng với $N=2M$), ký hiệu là V_m và V_n , ở đây $m, n \in \{1, \dots, M\}$

Lưu ý rằng, ở đây, người dùng có thể là cảm biến của phương tiện, thiết bị đeo được của người đi đường, v.v. Trong hệ thống này, trạm cơ sở được trang bị máy chủ có thể hỗ trợ các thiết bị không dây có giới hạn tài nguyên để thực hiện nhiệm vụ của họ và cấp nguồn cho thiết bị bằng cách triển khai thu năng lượng RF. Người dùng được ghép nối để áp dụng giảm tải NOMA cho trạm gốc bằng cách sử dụng giao tiếp tán xạ ngược với sơ đồ giảm tải một phần. Giả sử rằng tất cả các thiết bị không dây đều được trang bị một ăng-ten duy nhất và hoạt động ở chế độ bán song công.

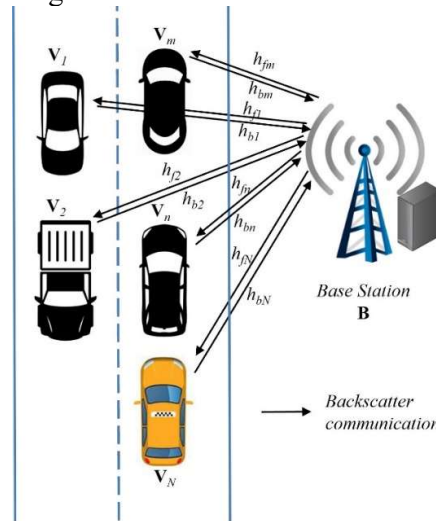


Fig. 1. Mô hình hệ thống

Chúng tôi biểu thị các hệ số kênh của các liên kết chuyển tiếp ($B-V_k$) và tán xạ ngược (V_k-B) như liên kết và h_{bk} , ứng với $k \in \{1, 2, \dots, N\}$. Giả sử rằng độ lợi kênh được sắp xếp như sau:

Tín hiệu nhận được tại B có dạng:

$$y = \left(\sqrt{\frac{\varepsilon_m P_0}{d_m^{2\alpha}}} b_m h_{fm} h_{bm} + \sqrt{\frac{\varepsilon_n P_0}{d_n^{2\alpha}}} b_n h_{fn} h_{bn} \right) x + w, \quad (2)$$

Ở đây x là tín hiệu được truyền từ B , thỏa mãn phương trình; b_m và $b_n \in \{0, 1\}$ đại diện cho các bit dữ liệu V_m và V_n , tương ứng; $w \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$ biểu thị nhiễu trắng Gaussian cộng trung bình bằng 0 (AWGN) với σ^2 phương sai; $E(\cdot)$ là viết tắt của toán tử kỳ vọng.

Áp dụng tính năng khử nhiễu liên tiếp (SIC-successive interference cancellation) tại \mathbf{B} , ở đây b_n được giải mã đầu tiên bằng cách xử lý tín hiệu b_m dưới dạng nhiễu và sau đó trừ đi thành phần được giải mã b_n để có được b_m . Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu cộng với nhiễu (SINR-signal-to-interference-plus-noise ratio) và tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu (SNR- signal-to-noise ratio) tại \mathbf{B} lần lượt được viết là:

$$\gamma_n = \frac{a_n H_n^2}{a_m H_m^2 + 1}, \quad (3)$$

$$\gamma_m = a_m H_m^2, \quad (4)$$

Ở đây $a_k \triangleq \frac{\varepsilon_k \gamma_0}{d_k^{2\alpha}}$, $\gamma_0 \triangleq \frac{P_0}{\sigma^2}$. Để đơn giản, đặt

$$H_k = |h_{fk}|^2 = |h_{bk}|^2, \quad k \in \{m, n\}.$$

Giả sử các kênh đều độc lập và có phân bố Rayleigh fading đồng nhất. Do đó, hàm mật độ xác suất (PDF) và hàm phân phối xác suất (CDF) của H_k lần lượt được biểu thị theo biểu thức sau:

$$F_{H_k}(x) = 1 - e^{-\frac{x}{\lambda_k}}, \quad (5)$$

$$f_{H_k}(x) = \frac{1}{\lambda_k} e^{-\frac{x}{\lambda_k}}, \quad (6)$$

Trong đó: $\lambda_k \triangleq \mathbf{E}(H_k)$.

2. Phân tích hiệu suất của kênh truyền

Áp dụng cơ chế giảm tải một phần, tại L_k -bit tác vụ của mỗi người dùng được chia thành một L_{k1} -bit ($L_{k1} = \rho L_k$) tác vụ phụ được tính toán tại \mathbf{V}_k và còn lại L_{k2} -bit ($L_{k2} = (1-\rho)L_k$) tác vụ phụ được giảm tải cho \mathbf{B} , $0 \leq \rho \leq 1$. Năng lượng thu được tại \mathbf{V}_k được sử dụng để thực hiện cho L_{k1} -bit tác vụ phụ. Chúng tôi giả định rằng việc thực hiện nhiệm vụ và giao tiếp cục bộ được thực hiện song song trong \mathbf{V}_k .

Các mô hình độ trễ và mức tiêu thụ năng lượng cho tính toán cục bộ được đưa ra trong tài liệu [11]:

$$T_k^c = \frac{c_k L_{k1}}{f_k}, \quad (7)$$

$$\Phi_{\{m,n\}} = \begin{cases} 0, & \max(T_m^c, T_n^c) > T_{th} \\ \frac{\pi}{Q\lambda_m} \sum_{q=1}^Q e^{-\frac{\sqrt{b}(\ln t_q)^2 + b_2 + \ln t_q}{\lambda_m} + \frac{\ln t_q}{\lambda_m}} \sqrt{\frac{1-\omega_q}{1+\omega_q}}, & \max(T_m^c, T_n^c) \leq T_{th}, D \geq G \\ \frac{\pi}{Q\lambda_m} \sum_{q=1}^Q e^{-\frac{\sqrt{b}(\ln t_q)^2 + b_2 + \ln t_q}{\lambda_m} + \frac{\ln t_q}{\lambda_m}} \sqrt{\frac{1-\omega_q}{1+\omega_q}} + \left(e^{-\frac{D}{\lambda_m}} - e^{-\frac{G}{\lambda_m}} \right) e^{-\frac{A_n}{\lambda_n}}, & \max(T_m^c, T_n^c) \leq T_{th}, D < G \end{cases} \quad (12)$$

$$E_k^c = \mu c_k (f_k)^2 L_{k1}, \quad (8)$$

Trong đó μ là viết tắt của hệ số điện dung hiệu dụng của CPU về kiến trúc của nó trong các thiết bị, c_k và f_k biểu thị các chu kỳ và tần số CPU để tính toán một bit tại \mathbf{V}_k , tương ứng. Đối với tính toán tổng quát, điều kiện sau phải được thỏa mãn:

$$E_k^h \geq E_k^c. \quad (9)$$

Độ trễ của hệ thống này được tính bởi công thức sau:

$$\tau_{\max} = \max \left\{ \max(T_m^c, T_n^c), \max\left(\frac{L_{m2}}{C_m}, \frac{L_{n2}}{C_n}\right) + \frac{c_B(L_{m2} + L_{n2})}{f_B} \right\}. \quad (10)$$

Trong đó:

$$C_k = W \log_2(1 + \gamma_k), \quad k \in \{m, n\},$$

W là độ rộng của băng thông kênh truyền,

c_B và f_B lần lượt là số chu kỳ CPU cần thiết để thực thi từng bit và tần số CPU của máy chủ MEC tại trạm gốc tương ứng.

Xác suất tính toán thành công (SCP), ký hiệu Φ , được sử dụng như một tiêu chí quan trọng để đánh giá hiệu suất của hệ thống MEC. Nó được định nghĩa cụ thể là xác suất năng lượng thu được của một cặp người dùng đủ để thực thi cục bộ và nhiệm vụ của họ được hoàn thành trong độ trễ tối đa cho phép của hệ thống T_{th} được tính bởi:

$$\Phi_{\{m,n\}} = \Pr(E_m^h \geq E_m^c, E_n^h \geq E_n^c, \tau_{\max} \leq T_{th}). \quad (11)$$

Để đơn giản, áp dụng đa truy cập phân chia theo thời gian (TDMA- time division multiple access). Chúng tôi gọi $\tau = T_{th} = \frac{T}{M}$. Để đánh giá hiệu suất của hệ thống được đề xuất này, chúng tôi xây dựng được định lý sau:

Định lý 1

Biểu thức dạng đóng gần đúng của SCP cho một cặp người dùng (V_m and V_n) trong hệ thống MEC dành cho xe cộ được hỗ trợ tán xạ ngược ($\Phi_{\{m,n\}}$) thu được như sau:

Trong đó: $A_k = \frac{\mu c_k (f_k)^2 L_{k1}}{\eta(1 - \varepsilon_k) P_0 \tau}$, $\Delta_k = \frac{L_{k2}}{T_{th} - \frac{c_B(L_{m2} + L_{n2})}{f_B}}$, $k \in \{m, n\}$, $B = \max \left\{ A_m, \sqrt{\frac{\Delta_m}{2^W - 1}}, G \right\}$,

$$G = \sqrt{\frac{1}{a_m} \left(\frac{a_n A_n^2}{2^W - 1} - 1 \right)}, \quad b_1 = \sqrt{\frac{a_m}{a_n} \left(2^W - 1 \right)}, \quad b_2 = \frac{1}{a_n} \left(2^W - 1 \right), \quad D = \max \left\{ A_m, \sqrt{\frac{\Delta_m}{2^W - 1}} \right\}, \quad t_q = \frac{(\varphi_q + 1)e^{-B}}{2},$$

$$\omega_q = \cos \left(\frac{2q-1}{2Q} \pi \right)$$

Với Q là hệ số quy đổi giữa độ phức tạp và độ chính xác của phương pháp Gaussian-Chebyshev.

Hệ quả 1:

Biểu thức dạng đóng của SCP cho toàn bộ hệ thống MEC dành cho xe cộ được hỗ trợ tán xạ ngược (Φ_{sys}) được thể hiện như sau:

$$\Phi_{sys} = \prod_{m=1, n=M+1}^{M, N} \Phi_{\{m, n\}}. \quad (13)$$

3. Kết quả và thảo luận (Numerical results and discussion)

Trong phần này, chúng tôi cung cấp các kết quả bằng số về SCP bằng cách sử dụng phương pháp mô phỏng Monte-Carlo. Các tham số mô phỏng được đưa ra trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số mô phỏng.

Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Môi trường		Rayleigh
Hệ số suy hao đường truyền	θ	2
Công suất truyền tải	P_0	0-40 dB
Tần số của người dùng và máy chủ MEC	f_m, f_n, f_B	$10^8, 10^8, 10^9$ Hz
Số chu kỳ CPU của người dùng và máy chủ MEC để thực thi từng bit	c_m, c_n, c_B	2, 2, 2
Băng thông kênh truyền	W	10^8 Hz
Hệ số chuyển đổi năng lượng	η	0.75
Chiều dài tác vụ	L_m, L_n	$10^7, 10^7$ bits
Hệ số điện dung hiệu dụng	μ	10^{-23}
Ngưỡng độ trễ	T_{th}	0.1s
Bán kính phủ sóng của trạm gốc	r	100 m
Khoảng cách từ B đến tâm làn	d	10 m

Hình 2 mô tả các đường cong của SCP so với các giá trị khác nhau của hệ số phản xạ tán xạ ngược (ε). Như đã thể hiện trong hình 2, SCP tăng khi giá trị ε tăng. Sau đó, SCP giảm khi giá trị ε tiến về 1. Có thể giải thích rằng ε càng lớn càng có công suất để giảm tải và SCP càng tăng. Khi ε tiếp tục tăng năng lượng được truyền tới người dùng để tính toán cục bộ (local computing) và SCP giảm. Điều này có nghĩa là có một giá trị tối ưu của ε để SCP đạt giá trị cực đại.

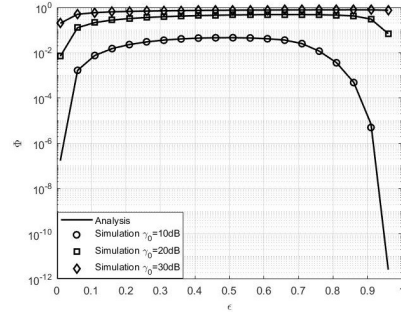


Fig. 2. Biểu đồ quan hệ giữa SCP so với hệ số phản xạ tán xạ ngược (ε)

Hình 3 vẽ các đường cong của SCP theo các giá trị khác nhau của hệ số phân chia nhiệm vụ (ρ). Để đơn giản, trong công việc của chúng tôi, chúng tôi giả định rằng hai người dùng có cùng giá trị ρ . Như chúng ta thấy từ hình này, lúc đầu, SCP tăng theo sự gia tăng của ρ . Sau đó nó giảm khi ρ gần với 0.5 và bằng 0 khi $\rho > 0.5$ (nó không xuất hiện trong hình này).

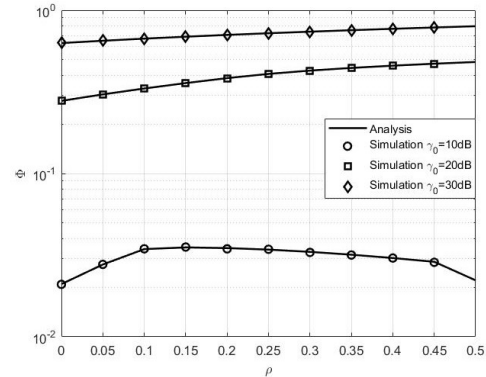


Fig. 3. Biểu đồ quan hệ giữa SCP so với hệ số phân chia nhiệm vụ (ρ)

Tương tự như hệ số phản xạ tán xạ ngược, cũng tồn tại một giá trị tối ưu của ρ để SCP đạt giá trị cực đại. Nói cách khác, giá trị đúng của ρ có thể cân bằng tải giữa thiết bị di động và máy chủ biên.

Đánh giá ảnh hưởng của vận tốc xe (v) về hiệu suất hệ thống, chúng tôi chỉ đơn giản minh họa sự phân bố của hệ thống này như Hình 4 và giả sử rằng vận tốc của hai người dùng là như nhau. Ngưỡng T_{th} được định nghĩa là khoảng thời gian

phương tiện di chuyển trong phạm vi phủ sóng của trạm gốc, tức là. $T_{th} = \frac{2\sqrt{r^2 - d^2}}{v}$. Hình 5 mô tả các đường cong của SCP so với các giá trị khác nhau của SNR truyền (γ_0). Từ hình này, SCP tăng khi γ_0 tăng và v giảm. Điều này có thể được giải thích như sau: khi γ_0 tăng công suất truyền cho người dùng và công suất phản xạ tăng, điều này dẫn đến đủ năng lượng cho tính toán cục bộ và tốc độ dữ liệu lớn hơn cho giảm tải. Ngoài ra, tốc độ thấp giúp trạm gốc có nhiều thời gian phục vụ hơn và có SCP tốt hơn.

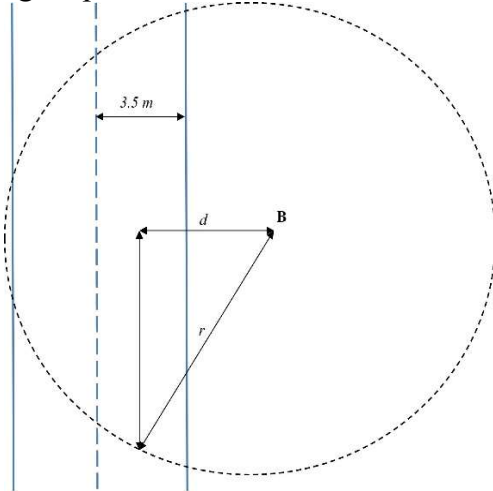
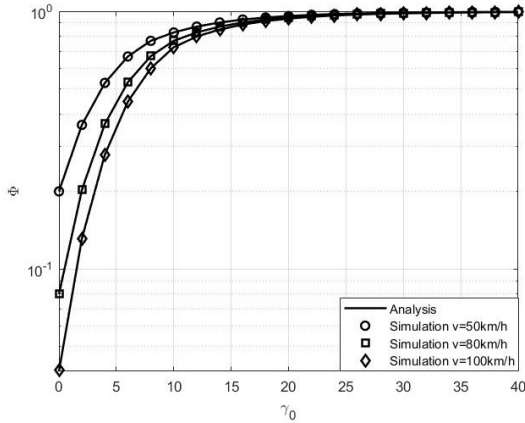


Fig. 4. Khoảng cách trong hệ thống



Phụ lục A: Chứng minh định lý 1

$$\begin{aligned} \Phi &= \Pr \left(E_m^h \geq E_m^c, E_n^h \geq E_n^c, \max \left\{ \max(T_m^c, T_n^c), \max \left(\frac{L_{m2}}{C_m}, \frac{L_{n2}}{C_n} \right) + \frac{c_B(L_{m2} + L_{n2})}{f_B} \right\} \leq T_{th} \right) \\ &= \begin{cases} 0, & \max(T_m^c, T_n^c) > T_{th} \\ \Pr \left(H_m \geq A_m, H_n \geq A_n, \max \left(\frac{L_{m2}}{C_m}, \frac{L_{n2}}{C_n} \right) + \frac{c_B(L_{m2} + L_{n2})}{f_B} \leq T_{th} \right), & \max(T_m^c, T_n^c) \leq T_{th} \end{cases} \\ &= \underbrace{\Pr(H_m \geq A_m, H_n \geq A_n, C_m \geq \Delta_m, C_n \geq \Delta_n)}_{\Psi} \begin{cases} 0, & \max(T_m^c, T_n^c) > T_{th} \\ \max(T_m^c, T_n^c) \leq T_{th} \end{cases} \end{aligned}$$

Fig. 5. SCP so với đường truyền SNR (γ_0) với các giá trị vận tốc xe khác nhau

Hình 6 mô tả các đường cong của SCP so với SNRs truyền với số lượng cặp người dùng khác nhau (M). Như thể hiện trong hình này, SCP giảm khi giá trị của cặp người dùng tăng lên. Điều đó có nghĩa là càng nhiều người dùng thì hiệu suất càng kém.

Từ những số liệu này (Hình 2-3, Hình 5-6), chúng ta có thể thấy sự trùng khớp rất tốt giữa mô phỏng máy tính và kết quả phân tích của chúng tôi.

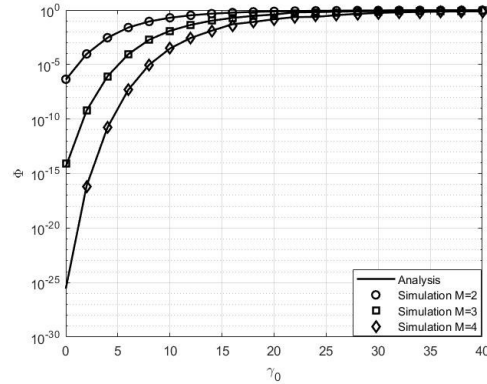


Fig. 6. SCP so với truyền SNR với số lượng cặp người dùng khác nhau (M)

4. Kết luận

Trong bài báo này, hiệu suất năng lượng và độ trễ của hệ thống NOMA MEC dành cho xe cộ được hỗ trợ tán xạ ngược nhiều người dùng dựa trên biểu thức dạng đóng gần đúng để xác suất tính toán thành công đã được phân tích. Hơn nữa, hiệu suất hệ thống đã được nghiên cứu để tiết lộ tác động của các tham số chính đến hành vi của hệ thống. Các kết quả bằng số cho thấy hiệu suất có thể được cải thiện bằng cách tăng công suất phát của người dùng hoặc bằng cách chọn giá trị tối ưu của hệ số phân chia nhiệm vụ, hệ số phản xạ tán xạ ngược. Vấn đề tối ưu hóa cho hệ thống này sẽ được giải quyết trong các công trình tương lai của chúng tôi.

$$\begin{aligned} \Psi &= \Pr \left(H_m \geq A_m, H_n \geq A_n, a_m H_m^2 \geq 2^{\frac{\Delta_m}{W}} - 1, \frac{a_n H_n^2}{a_m H_m^2 + 1} \geq 2^{\frac{\Delta_n}{W}} - 1 \right) \\ &= \Pr \left(H_m \geq A_m, H_n \geq A_n, H_m \geq \sqrt{\frac{2^{\frac{\Delta_m}{W}} - 1}{a_m}}, H_n \geq \sqrt{\frac{1}{a_n} \left(2^{\frac{\Delta_n}{W}} - 1 \right) (a_m H_m^2 + 1)} \right) \\ &= \begin{cases} \Pr \left(H_m \geq B, H_n \geq \sqrt{b_1 H_m^2 + b_2} \right), & D \geq G \\ \Pr \left(H_m \geq B, H_n \geq \sqrt{b_1 H_m^2 + b_2} \right) + \Pr \left(D \leq H_m \leq G, H_n \geq A_n \right), & D < G \end{cases} \end{aligned}$$

$$\Psi_1 = \int_B^\infty \left[1 - F_{H_n} \left(\sqrt{b_1 x^2 + b_2} \right) \right] f_{H_m}(x) dx = \frac{1}{\lambda_m} \int_B^\infty e^{-\frac{\sqrt{b_1 x^2 + b_2}}{\lambda_n}} \frac{x}{\lambda_m} dx$$

Bằng cách thiết lập $t = e^{-x}$ và áp dụng phương pháp cầu phương Gaussian-Chebyshev, chúng ta có thể thu được Ψ_1 như sau:

$$\Psi_1 = \frac{1}{\lambda_m} \int_0^{e^{-B}} e^{-\frac{\sqrt{b_1 (-\ln t)^2 + b_2}}{\lambda_n}} \frac{\ln t}{t} dt = \frac{\pi}{Q \lambda_m} \sum_{q=1}^Q e^{-\frac{\sqrt{b_1 (\ln t_q)^2 + b_2}}{\lambda_n}} \frac{\ln t_q}{\lambda_m} \sqrt{\frac{1 - \omega_q}{1 + \omega_q}}$$

Theo phương trình (5), chúng tôi tính toán Ψ_2 như sau:

$$\begin{aligned} \Psi_2 &= \Pr(D < H_m < G). \Pr(H_n \geq A_n) = [F_{H_m}(G) - F_{H_m}(D)] \cdot [1 - F_{H_n}(A_n)] \\ &= \left(e^{-\frac{D}{\lambda_m}} - e^{-\frac{G}{\lambda_m}} \right) e^{-\frac{A_n}{\lambda_n}} \end{aligned}$$

Điều này kết thúc bằng chứng của chúng tôi.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia Việt Nam (NAFOSTED) theo số trợ cấp 102.04-2021.11.

Tài liệu tham khảo

- Lucas Bréhon–Grataloup, Rahim Kacimi, André-Luc Beylot, : Mobile edge computing for V2X architectures and applications: A survey. *Computer Networks*, Volume 206 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.108797>
- Noor-A-Rahim, M., Liu, Z., Lee, H., Ali, G. G. M. N., Pesch, D., Xiao, P.: A survey on resource allocation in vehicular networks,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 2, pp. 701-721 (2022). Doi: 10.1109/TITS.2020.3019322
- Zhang, Y.: Mobile Edge Computing for the Internet of Vehicles. In: *Mobile Edge Computing*. Springer Briefs on Computing, vol 9. Springer, Cham (2022). https://doi.org/10.1007/978-3-030-83944-4_5
- Wu, W., Wang, X., Hawbani, A., Yuan, L., Gong, W.: A survey on ambient backscatter communications: Principles, systems, applications, and challenges. *Computer Networks*, vol. 216, iss. C (2022). <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.10923>
- Nguyen, M.T., Nguyen, C.V., Tran, H.T., Viola, F.: Energy harvesting for mobile agents supporting wireless sensor networks. *Energy Harvest. Syst.* (2022). <https://doi.org/10.1515/ehs-2022-0086>
- Du, J., et al.: When Mobile-Edge Computing (MEC) Meets Nonorthogonal Multiple Access

- (NOMA) for the Internet of Things (IoT): system design and optimization. *IEEE Internet Things J.* 8(10), 7849–7862 (2020). Doi: 10.1109/IIOT.2020.3041598
- Truong, V.-T., Vo, M.-T., Ha, D.-B.: Performance analysis of mobile edge computing network applied uplink NOMA with RF energy harvesting. In: Vo, N.-S., Hoang, V.-P., Vien, Q.-T.(eds.) *INISCOM 2021*. LNCS, vol. 379, pp. 57-72. Springer, Cham (2021). https://doi.org/10.1007/978-3-030-77424-0_6
- Guo, J., Zhou, X., Durrani, S., Yanikomeroglu, H.: Design of nonorthogonal multiple access enhanced backscatter communication. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 17, no. 10, pp. 6837-6852 (2018). Doi: 10.1109/TWC.2018.2864741
- Jameel F., Zeb, S., Khan, W. U., Hassan, S. A., Chang, Z., Liu, J.: NOMA-enabled backscatter communications: Toward battery-free IoT networks. *IEEE Internet of Things Magazine*, vol. 3, no. 4, pp. 95-101 (2020). <https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3187567>
- Ihsan A., Chen, W., Khan, W. U., Wu, Wang, Q., K.: Energy-efficient backscatter aided uplink NOMA roadside sensor communications under channel estimation errors. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 24, no. 5, pp. 4962-4974 (2023). Doi: 10.1109/TITS.2023.3240159
- Liu, S., Huang, Y., Hu, H., Si, J., Cheng, G., Huang, T., Hu X.: Resource and trajectory optimization for secure communication in RIS assisted UAV-MEC system. *IET Communications*, vol. 17, no. 18, pp. 2041-2139 (2023). <https://doi.org/10.1049/cmu2.12680>

Mạng cảm biến không dây tích hợp công nghệ UAV/điện toán biên di động và truyền thông tán xạ ngược

The Integration of MEC/UAV and Backscatter Communication in Wireless Sensor Networks

Nguyễn Ngọc Rạng^{1,2}, Nguyễn Anh Quốc Huy², Hà Đắc Bình^{3,*}

¹ *Đài kiểm soát không lưu Chu Lai - Công ty quản lý bay miền Trung*

² *Khoa Điện-Điện tử, Trường Công nghệ và Kỹ thuật, Đại học Duy Tân*

³ *Khoa Cơ khí, Trường Công nghệ và Kỹ thuật, Đại học Duy Tân*

**Email: hadacbinh@duytan.edu.vn*

Abstract: Mạng cảm biến không dây ngày càng đóng vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực quân sự, y tế, môi trường, an ninh xã hội. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một mô hình mạng cảm biến không dây mới sử dụng thiết bị bay không người lái (unmanned aerial vehicle - UAV) có gắn máy chủ điện toán biên hỗ trợ cho nhiều nút cảm biến dựa trên truyền thông tán xạ ngược (backscatter communication - BC). Chúng tôi đề xuất kết hợp chiến lược giảm tải một phần, kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) và cơ chế thu năng lượng vô tuyến (RF EH) trong mô hình hệ thống này. Ngoài ra, mô hình này còn áp dụng phương thức lựa chọn nút cảm biến để đáp ứng tốt nhất yêu cầu về độ trễ. Theo đó, chúng tôi xây dựng các biểu thức dạng gần đúng của xác suất tính toán thành công và xác suất dùng năng lượng bằng cách sử dụng các đặc tính thống kê của kênh vô tuyến. Theo đó, chúng tôi khảo sát tác động của các thông số quan trọng như công suất phát, số lượng nút cảm biến, tỉ lệ phân chia nhiệm vụ, độ cao của UAV và ngưỡng độ trễ. Chúng tôi đã kiểm chứng các phân tích toán học bằng phương pháp mô phỏng máy tính. Nghiên cứu cho thấy rằng việc tích hợp các công nghệ này có thể cải thiện đáng kể cả dung lượng và độ trễ hệ thống.

Keywords: truyền thông tán xạ ngược, mạng cảm biến không dây, UAV, thu năng lượng vô tuyến, đa truy cập phi trực giao.

1. Đặt vấn đề

Mạng cảm biến không dây (Wireless Sensor Network - WSN) là một hệ thống bao gồm nhiều cảm biến không dây kết nối với nhau để thu thập và truyền tải dữ liệu từ môi trường. Các cảm biến này có thể đo lường nhiều loại thông số khác nhau như nhiệt độ, độ ẩm, khói lửa, ánh sáng, chuyển động, áp suất hay các thông số sức khỏe. Điểm nổi bật của mạng cảm biến không dây gồm khả năng di động, tự động hóa, khả năng mở rộng, ứng dụng đa dạng và tiết kiệm năng lượng [1-2]. Về khả năng di động, cảm biến có thể được đặt ở nhiều vị trí khác nhau mà không cần dây nối, giúp dễ dàng triển khai trong các môi trường khác nhau. Về đặc điểm tự động hóa, các cảm biến thường tự động thu thập dữ liệu và truyền về trung tâm, giảm thiểu sự can thiệp của con người. Về khả năng mở rộng, hệ thống có thể dễ dàng mở rộng bằng cách thêm cảm biến mới vào mạng mà không cần thay đổi hạ tầng. Về ứng dụng đa dạng, WSN có thể được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như nông nghiệp, môi trường, thành phố thông minh, chăm sóc sức khỏe, và nhiều lĩnh vực khác. Về ưu điểm tiết kiệm năng lượng, các cảm biến thường được thiết kế để tiết kiệm năng lượng, giúp kéo dài tuổi thọ pin và giảm nhu cầu bảo trì.

Điện toán biên di động (Mobile Edge Computing - MEC) là một mô hình tính toán trong đó các dịch vụ và tài nguyên tính toán được

cung cấp gần với các thiết bị di động và cảm biến, thường là tại biên của mạng, thay vì tại các trung tâm dữ liệu tập trung xa xôi [3-4]. Mô hình này nhằm giảm độ trễ, tăng cường hiệu suất và giảm băng thông cần thiết cho các ứng dụng di động và IoT. Ứng dụng của MEC trong mạng cảm biến không dây bao gồm: Giảm độ trễ, tăng cường tính toàn vẹn và bảo mật, tiết kiệm băng thông, xử lý thông minh, cải thiện hiệu suất.

Thiết bị bay không người lái (Unmanned Aerial Vehicle - UAV) là các máy bay hoặc thiết bị bay được điều khiển từ xa hoặc tự động mà không cần sự can thiệp của con người trực tiếp trong khoang lái. UAV có thể bao gồm nhiều loại như máy bay không người lái (drone), máy bay trực thăng không người lái, hay các thiết bị bay khác. Việc triển khai UAV trong mạng cảm biến không dây có những ưu điểm như: Mở rộng vùng phủ sóng, tăng cường khả năng linh hoạt, giảm chi phí triển khai, hỗ trợ tình huống khẩn cấp, thu thập dữ liệu và giám sát, cải thiện khả năng phân phối và mạng lưới tạm thời [5-6].

Truyền thông tán xạ ngược (Backscatter Communication - BC) là một công nghệ truyền thông không dây mà trong đó thiết bị không phát ra tín hiệu trực tiếp mà phản xạ hoặc tán xạ tín hiệu từ một nguồn phát khác để truyền dữ liệu [7]. Đây là một phương pháp tiết kiệm năng lượng và chi phí, đặc biệt hữu ích cho các thiết bị có nguồn năng lượng hạn chế. Truyền thông tán

xạ ngược là một công nghệ đang phát triển và có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau của mạng không dây, đặc biệt là trong các ứng dụng cần tiết kiệm năng lượng và giảm chi phí như mạng cảm biến không dây [8].

Khác với các cơ chế đa truy cập trực giao truyền thống (FDMA, TDMA, CDMA), trong đó những người dùng khác nhau được phân bổ các băng tần, khe thời gian hoặc mã riêng biệt để tránh nhiễu, cơ chế đa truy cập phi trực giao (NOMA) cho phép nhiều người dùng chia sẻ cùng một tài nguyên thời gian, tần số và mã bằng cách tận dụng sự khác biệt về mức công suất [9-11].

Công trình [12] nghiên cứu sự kết hợp của cơ chế đa truy cập phi trực giao đường lên với thu năng lượng RF cho hệ thống điện toán biên di động. Sự tích hợp của NOMA và giao tiếp tán xạ ngược đã được nghiên cứu trong các công trình [10-11]. Công trình [13] đề xuất một bài toán tối ưu hóa luân phiên tiết kiệm năng lượng hỗ trợ cơ chế đa truy cập phi trực giao cho giao tiếp cảm biến không dây hỗ trợ tán xạ ngược trong mạng xe cộ. Tuy nhiên, theo hiểu biết của chúng tôi, việc triển khai thu năng lượng RF, giao tiếp tán xạ ngược và kỹ thuật NOMA trong mạng cảm biến không dây vẫn chưa được xem xét. Trong công trình của mình, chúng tôi tập trung vào sự kết hợp của thu năng lượng RF, giao tiếp tán xạ ngược và kỹ thuật NOMA trong mạng cảm biến không dây với cơ chế giảm tải một phần. Những đóng góp chính của bài báo này như sau:

- Chúng tôi đề xuất một mô hình hệ thống NOMA MEC cho mạng cảm biến không dây dựa trên giao tiếp tán xạ ngược thu năng lượng RF với cơ chế giảm tải một phần.

- Chúng tôi đưa ra biểu thức dạng tường minh xấp xỉ của xác suất tính toán thành công (SCP) và xác suất dùng năng lượng.

- Chúng tôi nghiên cứu tác động của các thông số quan trọng như độ cao của UAV, hệ số phân chia nhiệm vụ, hệ số phản xạ tán xạ ngược, độ lớn của tác vụ, số lượng nút cảm biến và công suất truyền tải lên hiệu suất của hệ thống.

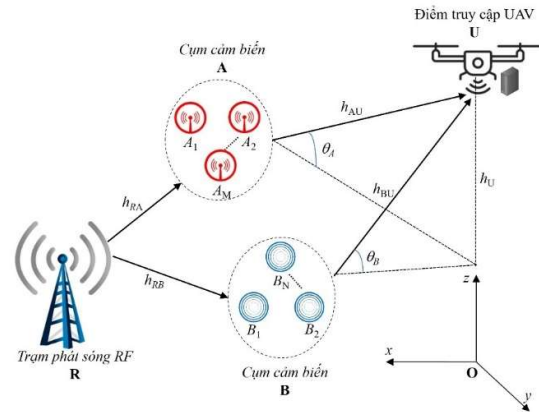
Phần còn lại của bài báo này được tổ chức như sau: Mục 2 mô tả mô hình hệ thống và kênh. Phân tích hiệu suất được trình bày trong Mục 3. Kết quả số được cung cấp trong Mục 4. Mục 5 là phần kết luận và hướng phát triển.

2. Mô hình hệ thống

2.1 Mô hình hệ thống và kênh truyền

Trong công trình này, chúng tôi đề xuất một mô hình hệ thống mạng cảm biến không dây như Hình

1, trong đó hệ thống sử dụng truyền thông tán xạ ngược để thu thập dữ liệu cảm biến và điện toán biên di động tại máy bay không người lái để xử lý. Các nút cảm biến được chia thành hai cụm riêng biệt, cụm **A** (có M nút, kí hiệu là $A_m, m \in \{1, 2, \dots, M\}$) và cụm **B** (có N nút, kí hiệu là $A_n, n \in \{1, 2, \dots, N\}$), mỗi cụm này có cùng một loại cảm biến và hai cụm có mức độ ưu tiên khác nhau. Không mất tính tổng quát, chúng tôi giả sử cụm **A** ưu tiên hơn cụm **B**. Điểm truy cập UAV, kí hiệu là **U**, được triển khai gần người dùng để cung cấp dịch vụ điện toán cho các nút cảm biến bằng cách tích hợp với máy chủ biên và bay lơ lửng trên bầu trời ở độ cao h_U . Các nút cảm biến sử dụng phương thức truyền thông tán xạ ngược với tín hiệu RF từ trạm **R** để giảm tải dữ liệu. Giả sử tất cả các thiết bị không dây đều được trang bị đơn ăng-ten và hoạt động ở chế độ bán song công.



Hình 7. Mô hình hệ thống

Trong nghiên cứu này, tọa độ Descartes tĩnh được sử dụng để biểu diễn vị trí của UAV và mỗi nút như Hình 1. Trong đó, chúng tôi biểu thị vị trí của **U** là (x_U, y_U, h_U) , vị trí của nút cảm biến $S_k \in \{A_m, B_n\}$ thứ k là $(x_k, y_k, 0)$ với $k \in \{m, n\}$, vị trí của **R** là $(x_R, y_R, 0)$. Giả sử các kênh không dây mặt đất-không trung và không trung-mặt đất được mô hình hóa bằng hai loại fading: mô hình quy mô lớn và quy mô nhỏ. Trong đó, mô hình quy mô lớn được điều chỉnh bởi mô hình xác suất có đường truyền thẳng (Line-of-Sight - LoS) và không có đường truyền thẳng (Non-Line-of-Sight - NLoS) [14]. Suy hao đường truyền trung bình khi xem xét xác suất của cả liên kết LoS và NLoS giữa **U** và nút cảm biến thứ k được tính bằng công thức sau:

$$L_{Uk} = \left[J_{LoS} + \frac{J_{LoS} - J_{NLoS}}{1 + \beta e^{\left(-\frac{130}{\tau} \mu \theta_{Uk} + \mu \beta\right)}} \right] d_{Uk}^\alpha, \quad (1)$$

$$\text{Trong đó, } \theta_{Uk} \triangleq \arcsin(h_U / d_{Uk}), \\ d_{Uk} = \sqrt{(x_U - x_k)^2 + (y_U - y_k)^2 + h_U^2},$$

α là số mũ suy hao đường truyền,
 μ và β biểu diễn các tham số có giá trị thay đổi dựa trên môi trường xung quanh,

$J_\Omega \triangleq \Psi_\Omega(4\pi f_c / c)$, $\Omega \in \{LoS, NLoS\}$ biểu thị tham số phụ thuộc vào môi trường và tần số sóng mang f_c , c biểu thị tốc độ ánh sáng và

Ψ_Ω biểu diễn suy hao đường truyền quá mức của quá trình truyền LoS và NLoS [21].

Hệ số kênh của các liên kết $\mathbf{R}-S_k$, $S_k-\mathbf{U}$ được ký hiệu lần lượt là h_{Rk} và h_{S_kU} . Giả sử các kênh truyền này độc lập, đồng nhất và tuân theo fading Rayleigh. Khi đó, hàm phân phối tích lũy (cumulative distribution function - CDF) và hàm mật độ xác suất (probability density function - PDF) của độ lợi công suất kênh tương ứng $|h_{Rk}|^2$ và $|h_{S_kU}|^2$, $S_k \in \{A, B\}$, lần lượt là

$$F_V(x) = 1 - e^{-\frac{x}{\lambda_V}}, \quad (2)$$

$$f_V(x) = \frac{1}{\lambda_V} e^{-\frac{x}{\lambda_V}}, \quad (3)$$

trong đó, $V \in \{|h_{Rk}|^2, |h_{S_kU}|^2\}$, $\lambda_V \triangleq \mathbf{E}(V)$.

2.2 Mô hình tín hiệu

Trong mô hình hệ thống đề xuất này, để áp dụng kỹ thuật đa truy cập phi trực giao NOMA nhằm nâng cao hiệu năng hệ thống, chúng tôi lựa chọn một cặp nút cảm biến $\{A, B\}$ đóng vai trò là các cụm trường bằng cách:

$$A = \arg \max_{1 \leq m \leq M} \{|h_{Rm}|\}, B = \arg \max_{1 \leq n \leq N} \{|h_{Rn}|\}. \quad (4)$$

Tín hiệu nhận được tại \mathbf{U} như sau:

$$y = \left(\sqrt{\frac{\varepsilon_A P_0}{d_{RA}^\alpha L_{UA}}} b_A h_{RA} h_{AU} + \sqrt{\frac{\varepsilon_B P_0}{d_{RB}^\alpha L_{UB}}} b_B h_{RB} h_{BU} \right) x + w, \quad (5)$$

trong đó, x là tín hiệu truyền từ \mathbf{R} , thỏa mãn kỳ vọng $\mathbf{E}(|x|^2) = 1$; b_A và $b_B \in \{0, 1\}$ tương ứng đại diện cho các bit dữ liệu của $\{A, B\}$; $w \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$ là nhiễu trắng cộng Gaussian (AWGN) với trung bình là 0 và phương sai là σ^2 . ε_A và ε_B lần lượt là hệ số tán xạ tại nút cảm biến A và B . Do cụm \mathbf{A} ưu tiên hơn cụm \mathbf{B} , nên ε_A và ε_B được thiết kế để thỏa mãn điều kiện $\varepsilon_A > \varepsilon_B$. Các hệ số kênh truyền h_{RA} và h_{RB} tương ứng được biểu diễn như sau:

$$h_{RA} = \max_{1 \leq m \leq M} \{|h_{Rm}|\}, \quad (6)$$

$$h_{RB} = \max_{1 \leq n \leq N} \{|h_{Rn}|\}.$$

Ngoài ra, h_{AU} và h_{BU} lần lượt là hệ số kênh truyền từ các nút cảm biến A và B đến \mathbf{U} . Hàm phân phối tích lũy (CDF) của độ lợi kênh truyền $|h_{RA}|^2$ và $|h_{RB}|^2$ có được như sau:

$$F_{|h_{RA}|^2}(x) = \left(1 - e^{-\frac{x}{\lambda_{RA}}}\right)^M = 1 + \sum_{m=0}^{M-1} \binom{M}{m} (-1)^{M-m} e^{-\frac{(M-m)x}{\lambda_{RA}}}, \quad (7)$$

$$F_{|h_{RB}|^2}(x) = \left(1 - e^{-\frac{x}{\lambda_{RB}}}\right)^N = 1 + \sum_{n=0}^{N-1} \binom{N}{n} (-1)^{N-n} e^{-\frac{(N-n)x}{\lambda_{RB}}}. \quad (8)$$

Áp dụng kỹ thuật triệt nhiễu liên tiếp (Successive Interference Cancellation - SIC) tại \mathbf{U} , b_A được giải mã trước tiên bằng cách xử lý thành phần b_B như nhiễu và sau đó trừ đi thành phần b_B đã giải mã để thu được b_A . Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu cộng với nhiễu (SINR) để giải mã b_A và tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (SNR) để giải mã b_B tại \mathbf{U} lần lượt được biểu diễn như sau:

$$\gamma_A = \frac{a_A |h_{RA}|^2 |h_{AU}|^2}{a_B |h_{RB}|^2 |h_{BU}|^2 + 1} = \frac{a_A H_A}{a_B H_B + 1}, \quad (9)$$

$$\gamma_B = a_B |h_{RB}|^2 |h_{BU}|^2 = a_B H_B, \quad (10)$$

Trong đó, $H_A \triangleq |h_{RA}|^2 |h_{AU}|^2$, $H_B \triangleq |h_{RB}|^2 |h_{BU}|^2$,

$$a_A \triangleq \frac{\varepsilon_A \gamma_0}{d_{RA}^\alpha L_{UA}}, \quad a_B \triangleq \frac{\varepsilon_B \gamma_0}{d_{RB}^\alpha L_{UB}}, \quad \gamma_0 \triangleq \frac{P_0}{\sigma^2}.$$

Bổ đề 1.

Hàm phân phối tích lũy (CDF) của H_X , $X \in \{A, B\}$ được biểu diễn như sau:

$$F_{H_A}(x) = 1 + 2 \sum_{m=0}^{M-1} \binom{M}{m} (-1)^{M-m} \sqrt{\frac{(M-m)x}{\lambda_{RA} \lambda_{AU}}} K_1 \left(2 \sqrt{\frac{(M-m)x}{\lambda_{RA} \lambda_{AU}}} \right), \quad (11)$$

$$F_{H_B}(x) = 1 + 2 \sum_{n=0}^{N-1} \binom{N}{n} (-1)^{N-n} \sqrt{\frac{(N-n)x}{\lambda_{RB} \lambda_{BU}}} K_1 \left(2 \sqrt{\frac{(N-n)x}{\lambda_{RB} \lambda_{BU}}} \right), \quad (12)$$

trong đó, $K_\nu(\cdot)$ là hàm Bessel đã sửa đổi loại 2 bậc ν [14].

Chứng minh.

$$F_{H_A}(x) = \Pr(H_A < x) = \Pr(|h_{RA}|^2 |h_{AU}|^2 < x)$$

$$= \Pr\left(|h_{RA}|^2 < \frac{x}{|h_{AU}|^2}\right)$$

Thay (3) và (7) vào và dùng công thức (3.471-9) trong tài liệu [14], ta được kết quả như (11).

Tương tự đối với (12). Bổ đề 1 đã được chứng minh.

Hệ quả 1.

Hàm mật độ xác suất (PDF) của H_X , $X \in \{A, B\}$ được biểu diễn như sau:

$$f_{H_A}(x) = 2 \sum_{m=0}^{M-1} \binom{M}{m} \frac{(M-m)(-1)^{M-m+1}}{\lambda_{RA} \lambda_{AU}} K_0 \left(2 \sqrt{\frac{(M-m)x}{\lambda_{RA} \lambda_{AU}}} \right), \quad (13)$$

$$f_{H_B}(x) = 2 \sum_{n=0}^{N-1} \binom{N}{n} \frac{(N-n)(-1)^{N-n+1}}{\lambda_{RB} \lambda_{BU}} K_0 \left(2 \sqrt{\frac{(N-n)x}{\lambda_{RB} \lambda_{BU}}} \right). \quad (14)$$

2.3 Mô hình năng lượng

Các nút cảm biến nhận được tín hiệu RF từ \mathbf{R} ,

một phần tín hiệu thu được này được tán xạ ngược sau khi đã điều chế thông tin đến \mathbf{U} , phần còn lại được chuyển hóa thành năng lượng dùng để xử lý dữ liệu tại chỗ. Năng lượng thu được tại nút cảm biến được tính như sau:

$$E_X^h = \eta(1 - \varepsilon_X) P_0 |h_{RX}|^2 T, \quad (15)$$

trong đó, $X \in \{A, B\}$, η là hệ số chuyển hóa năng lượng ($0 < \eta \leq 1$).

Giả sử, dữ liệu của các nút cảm biến được chia thành hai phần: phần dữ liệu xử lý tại chỗ có độ lớn $L_X^{(1)}$ - bit, còn phần gửi cho \mathbf{U} có độ lớn $L_X^{(2)}$ - bit. Năng lượng tiêu hao cho việc xử lý tại chỗ được tính như sau:

$$E_X^{local} = \rho c_X (f_X)^2 L_X^{(1)}, \quad (16)$$

trong đó, ρ biểu thị cho hệ số điện dung hiệu dụng của CPU phụ thuộc vào kiến trúc của nó trong các thiết bị nút cảm biến, c_X và f_X biểu thị chu kỳ CPU để tính toán một bit và tần số chu kỳ CPU của X tương ứng. Đối với việc xử lý cục bộ, điều kiện sau đây phải được thỏa mãn:

$$E_X^h \geq E_X^{local}. \quad (17)$$

2.4 Mô hình giảm tải và xử lý biên

Như đã trình bày ở phần trên, cơ chế giảm tải một phần được áp dụng cho hệ thống này. Phần xử lý tại chỗ cần thời gian xử lý được tính như sau:

$$T_X^{local} = \frac{c_X L_X^{(1)}}{f_X}, \quad (18)$$

$$\Lambda_{SCP} = \begin{cases} 0, & \delta > T_{th} \\ \frac{4\pi \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{q=1}^Q \binom{M}{m} \binom{N}{n} \frac{(N-n)(-1)^{M+N-m-n}}{\lambda_{RB} \lambda_{BU}} \sqrt{\frac{\Delta_A}{(M-m)(2^{\frac{\Delta_A}{W}} - 1)(a_B(-\ln u_q) + 1)}}}{Q} & \delta \leq T_{th} \\ \times K_1 \left(2 \sqrt{\frac{\Delta_A}{\lambda_{RA} \lambda_{AU} a_A} (M-m)(2^{\frac{\Delta_A}{W}} - 1)(a_B(-\ln u_q) + 1)} \right) K_0 \left(2 \sqrt{\frac{(N-n)(-\ln u_q)}{\lambda_{RB} \lambda_{BU}}} \right) \sqrt{\frac{1-x_q}{1+x_q}}, & \delta \leq T_{th} \end{cases} \quad (23)$$

trong đó, $\delta = \max(T_A^{local}, T_B^{local})$, $\Delta_A = \frac{L_A^{(2)}}{T_{th} - \frac{c_U(L_A^{(2)} + L_B^{(2)})}{f_U}}$, $\Delta_B = \frac{L_B^{(2)}}{T_{th} - \frac{c_U(L_A^{(2)} + L_B^{(2)})}{f_U}}$, $\varpi = e^{\frac{1-2^{\frac{\Delta_B}{a_B}}}{a_B}}$, $u_q = \frac{(a_q + 1)\varpi}{2}$,

$\omega_q = \cos\left(\frac{2q-1}{2Q}\pi\right)$ với Q là hệ số đánh đổi giữa độ phức tạp và độ chính xác của phương pháp tích phân Gaussian-Chebyshev.

Chứng minh.

Xem phần chứng minh ở Phụ lục A.

3.2 Xác suất dừng năng lượng

Trong hệ thống này, xác suất dừng năng lượng (Energy Outage Probability - EOP), ký hiệu là Λ_{EOP} , cũng là một tiêu chí quan trọng để đánh giá hiệu năng của hệ thống. Nó được định

với $X \in \{A, B\}$. Trong khi đó, phần còn lại được giảm tải về cho \mathbf{U} với thời gian truyền và xử lý tại \mathbf{U} lần lượt được tính như sau:

$$T_X^{off} = \frac{L_X^{(2)}}{C_X}, \quad (19)$$

$$T_U^{exe} = \frac{c_U(L_A^{(2)} + L_B^{(2)})}{f_U}, \quad (20)$$

trong đó, $C_X = W \log(1 + \gamma_X)$ với W là băng thông kênh truyền; c_U và f_U tương ứng là chu kỳ CPU để tính toán một bit và tần số chu kỳ CPU của \mathbf{U} .

3. Phân tích hiệu năng hệ thống

3.1 Xác suất tính toán thành công

Trong hệ thống này, chúng tôi khảo sát hiệu năng thông qua độ trễ của hệ thống. Độ trễ của hệ thống được định nghĩa như sau:

$$T_{max} = \max\{\max(T_A^{local}, T_B^{local}), \max(T_A^{off}, T_B^{off}) + T_U^{exe}\}. \quad (21)$$

Xác suất tính toán thành công (Successful Computation Probability - SCP), ký hiệu là Λ_{SCP} , được sử dụng như một tiêu chí quan trọng để đánh giá hiệu năng của hệ thống này. Nó được định nghĩa là xác suất các tác vụ của cặp người dùng được hoàn thành trong độ trễ hệ thống tối đa cho phép T_{th} như sau:

$$\Lambda_{SCP} = \Pr(T_{max} \leq T_{th}). \quad (22)$$

Định lý 1.

Xác suất tính toán thành công Λ_{SCP} của hệ thống đề xuất được tính theo biểu thức:

nghĩa là xác suất năng lượng tiêu hao cho tính toán cục bộ lớn hơn năng lượng RF thu được:

$$\Lambda_{EOP} = \Pr(E_A^{local} > E_A^h \text{ or } E_B^{local} > E_B^h) \quad (24)$$

$$= 1 - \Pr(E_A^{local} < E_A^h, E_B^{local} < E_B^h),$$

trong đó, E_X^h và E_X^{local} , $X \in \{A, B\}$, lần lượt được định nghĩa ở các biểu thức (15) và (16). Tương

tự như phần 3.1, chúng tôi cũng xây dựng được Định lý 2 cho xác suất dừng năng lượng.

Định lý 2.

Xác suất dừng năng lượng Λ_{EOP} của hệ thống đề xuất được tính theo biểu thức:

$$\Lambda_{EOP} = 1 - \left[1 - \left(1 - e^{-\frac{\Omega_A}{\lambda_{RA}}} \right)^N \right] \left[1 - \left(1 - e^{-\frac{\Omega_B}{\lambda_{RB}}} \right)^N \right], \quad (25)$$

trong đó, $\Omega_X = \frac{\rho c_X (f_X)^2 L_X^{(1)}}{\eta(1 - \epsilon_X) R T}$, $X \in \{A, B\}$.

Chứng minh.

Xem phần chứng minh ở Phụ lục B.

4. Kết quả số và thảo luận

Trong phần này, chúng tôi cung cấp các kết quả số về SCP và EOP bằng cách sử dụng phương pháp mô phỏng Monte-Carlo. Để thuận tiện, chúng tôi giả sử các thiết bị cảm biến trong từng cụm là giống nhau, khoảng cách giữa các cảm biến trong từng cụm là rất nhỏ so với khoảng cách từ **R** và **U** đến cụm **A** và **B**, khi đó, khoảng cách **R** và **U** đến cụm **A** và **B** là như nhau với mọi nút cảm biến trong cùng một cụm. Các tham số mô phỏng được đưa ra như Bảng 1.

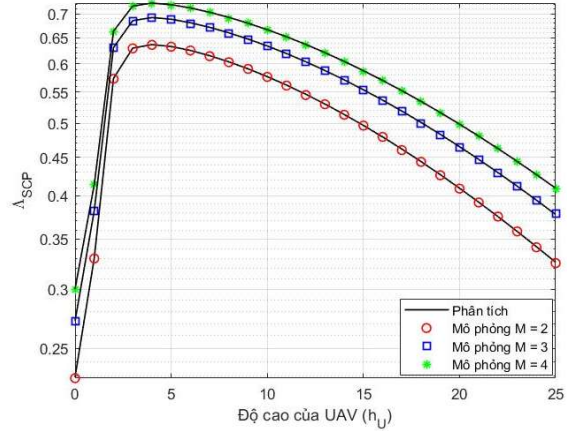
Bảng 2. Bảng tham số mô phỏng

Tham số	Ký hiệu	Giá trị sử dụng
Môi trường truyền		Rayleigh
Tham số phân bố Rayleigh	$\lambda_{RX}, \lambda_{XU}$	1
Hệ số suy hao đường truyền	α	2
Tham số môi trường	μ, β	9.6177, 0.1581
Hệ số tán xạ	ϵ_A, ϵ_B	0.5, 0.5
Tần số sóng mang	f_c	10^5 Hz
Tọa độ của trạm RF	(x_R, y_R, h_R)	(2, 2, 0)
Tọa độ của A, B	(x_X, y_X, h_X)	(1, 2, 0), (2, 1, 0)
Tọa độ của UAV	(x_U, y_U, h_U)	(0, 0, 5)
Công suất phát của R	P_0	0-40 dB
Tần số CPU của các nút cảm biến và máy chủ U	f_A, f_B, f_U	$10^8, 10^8, 10^9$ Hz
Số chu kỳ CPU tính toán 1 bit	c_A, c_B, c_U	2, 2, 2
Độ rộng băng thông kênh	W	10^8 Hz
Hệ số chuyển đổi năng lượng RF	η	0.75
Độ dài các tác vụ	L_A, L_B	1Mbs, 5Mbs, 10Mbs
Hệ số phân chia tác vụ	ξ_A, ξ_B	0.4, 0.3
Ngưỡng độ trễ	T_{th}	1 s
Ngưỡng năng lượng	E_{th}	1 J

4.1 Xác suất tính toán thành công

Trong phần này, chúng tôi trình bày kết quả mô phỏng và phân tích theo tiêu chí đánh giá xác suất tính toán thành công (Λ_{SCP}).

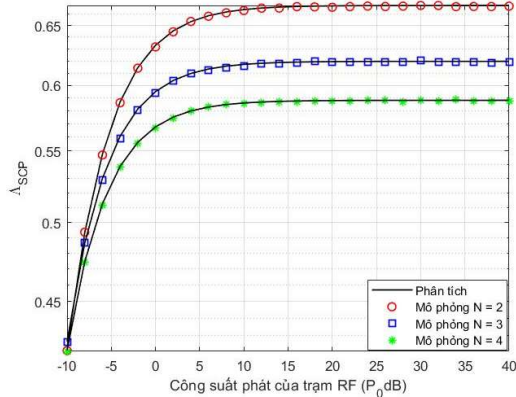
Hình 2 mô tả sự thay đổi Λ_{SCP} theo độ cao của UAV với các giá trị khác nhau của số lượng nút cảm biến cụm **A**. Quan sát hình này, ta thấy đường cong có chiều hướng tăng nhanh khi độ cao của UAV thay đổi từ 0 đến nhỏ hơn 5, tức Λ_{SCP} tăng. Khi độ cao của UAV tiếp tục tăng thì đường cong đi xuống, tức Λ_{SCP} giảm. Hiện tượng này được giải thích như sau: khi độ cao của UAV giảm về 0, tuy suy hao đường truyền giảm nhưng do sự che chắn của chướng ngại vật trên đường truyền, NLoS chiếm ưu thế nên Λ_{SCP} giảm. Khi độ cao của UAV tăng cao, tuy LoS chiếm ưu thế, tuy nhiên suy hao đường truyền ảnh hưởng lớn nên Λ_{SCP} giảm. Như vậy, tồn tại một giá trị độ cao của UAV cân bằng giữa LoS, NLoS và suy hao đường truyền làm cho Λ_{SCP} đạt giá trị lớn nhất. Ngoài ra, ta cũng quan sát từ Hình 4 thấy rằng Λ_{SCP} tăng khi số lượng nút cảm biến cụm **A** tăng. Điều này nói lên khi số lượng nút cảm biến cụm **A** tăng, nó cho phép chúng ta lựa chọn được nút cảm biến tốt nhất để gửi dữ liệu cho trạm UAV xử lý, từ đó cải thiện được hiệu năng của hệ thống.



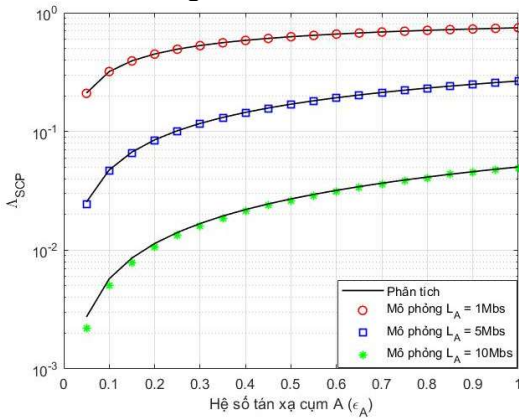
Hình 2. Λ_{SCP} thay đổi theo độ cao của UAV và số lượng nút cảm biến cụm **A**

Hình 3 vẽ đường cong Λ_{SCP} thay đổi theo công suất phát của trạm RF và số lượng nút cảm biến cụm **B**. Từ hình 3 ta thấy, khi tăng công suất phát thì Λ_{SCP} tăng, điều này nói lên hiệu năng của hệ thống được cải thiện. Tuy nhiên, khi công suất tăng từ 15dB trở đi, hiệu năng hệ thống bão hòa. Ngoài ra, Λ_{SCP} tăng khi số lượng nút cảm biến cụm **B** tăng. Như vậy, khi số lượng nút cảm biến cụm **B** tăng, nó cho phép chúng ta lựa chọn được nút cảm biến tốt nhất giúp cải thiện được hiệu năng của hệ thống.

Hình 4 là các đường cong minh họa Λ_{SCP} thay đổi theo hệ số tán xạ và độ lớn dữ liệu của cụm A. Từ hình 4 ta thấy, hệ số tán xạ của cụm A càng lớn tức việc phân bố công suất phát cho nút cảm biến cụm A càng nhiều cho giảm tải dữ liệu tới máy chủ ở UAV giúp nâng cao hiệu năng mạng. Đồng thời, ta cũng thấy lượng dữ liệu của cụm A càng tăng thì càng làm giảm hiệu năng mạng.

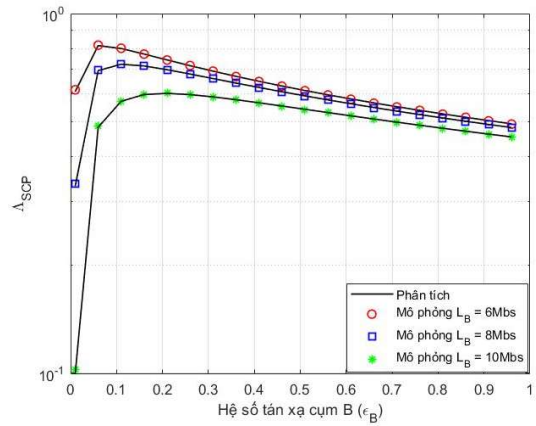


Hình 3. Λ_{SCP} thay đổi theo công suất phát của R và số lượng nút cảm biến cụm B



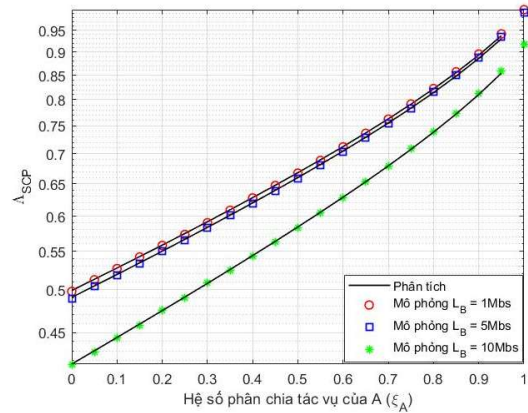
Hình 4. Λ_{SCP} thay đổi theo hệ số tán xạ và độ lớn dữ liệu của cụm A

Hình 5 mô tả sự thay đổi Λ_{SCP} theo hệ số tán xạ và độ lớn dữ liệu của cụm B. Từ hình này ta thấy hệ số tán xạ của cụm B tăng từ 0 thì xác suất tính toán thành công tăng. Tuy nhiên, khi hệ số tán xạ của cụm B tiếp tục tăng thì xác suất tính toán thành công giảm. Điều này được giải thích như sau: ban đầu hệ số tán xạ của cụm B tăng thì giúp cho cụm B tăng công suất giảm tải giúp cải thiện hiệu năng hệ thống, khi hệ số tán xạ của cụm B tiếp tục tăng thì nó tăng thành phần nhiễu của SINR theo biểu thức (9). Cũng từ hình này ta thấy, lượng dữ liệu của cụm B càng tăng thì càng làm giảm hiệu năng mạng.

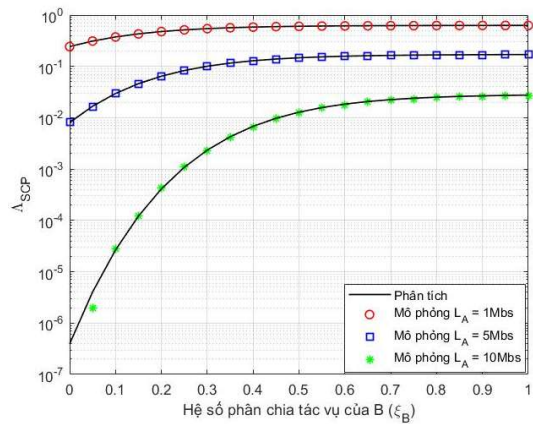


Hình 5. Λ_{SCP} thay đổi theo hệ số tán xạ và độ lớn dữ liệu của cụm B

Hình 6 và hình 7 vẽ các đường cong Λ_{SCP} thay đổi theo hệ số phân chia tác vụ và độ lớn dữ liệu của các cụm. Chúng cho thấy dữ liệu giảm tải ở máy chủ biên càng tăng thì hiệu năng độ trễ càng giảm. Điều này cho thấy để cải thiện hiệu năng hệ thống thì ta cần nâng cao khả năng xử lý tại các nút cảm biến.



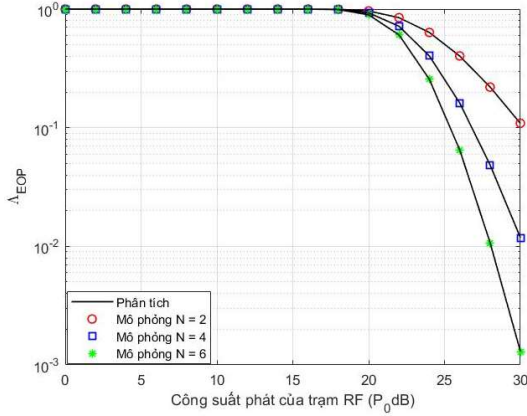
Hình 6. Λ_{SCP} thay đổi theo hệ số phân chia tác vụ và độ lớn dữ liệu của cụm B



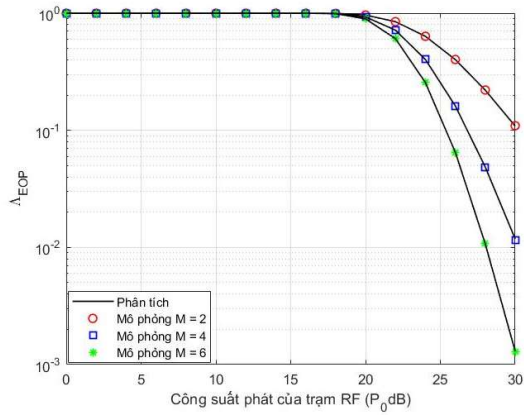
Hình 7. Λ_{SCP} thay đổi theo hệ số phân chia tác vụ và độ lớn dữ liệu của cụm A

4.2 Xác suất dừng năng lượng

Trong phần này, chúng tôi khảo sát xác suất dừng năng lượng Λ_{EOP} theo công suất phát của trạm **R** và với các giá trị số lượng nút cảm biến khác nhau.



Hình 8. Λ_{EOP} thay đổi công suất phát trạm **R** và số lượng nút cảm biến của cụm **B**



Hình 9. Λ_{EOP} thay đổi công suất phát trạm **R** và số lượng nút cảm biến của cụm **A**

Phụ lục A: Chứng minh Định lý 1

$$\Lambda_{SCP} = \Pr\left(\max(T_A^{local}, T_B^{local}) \leq T_{th}, \max(T_A^{off}, T_B^{off}) + T_U^{exe} \leq T_{th}\right)$$

$$= \begin{cases} 0, & \max(T_A^{local}, T_B^{local}) > T_{th} \\ \Pr\left(\frac{L_A^{(2)}}{C_A} \leq T_{th} - \frac{c_U(L_A^{(2)} + L_B^{(2)})}{f_U}, \frac{L_B^{(2)}}{C_B} \leq T_{th} - \frac{c_U(L_A^{(2)} + L_B^{(2)})}{f_U}\right), & \max(T_A^{local}, T_B^{local}) \leq T_{th} \end{cases}$$

$$= \begin{cases} 0, & \max(T_m^c, T_n^c) > T_{th} \\ \Pr(C_A \geq \Delta_A, C_B \geq \Delta_B), & \max(T_m^c, T_n^c) \leq T_{th} \end{cases}$$

Từ hình 8 và hình 9 ta thấy công suất phát tăng hoặc số lượng nút cảm biến tăng đều có thể làm giảm xác suất dừng năng lượng, từ đó nâng cao được hiệu năng hệ thống.

Quan sát kết quả từ các hình 2-9, ta thấy kết quả phân tích khớp với kết quả mô phỏng. Điều này khẳng định tính đúng đắn của kết quả phân tích.

5. Kết luận và hướng phát triển

Bài báo này đã trình bày kết quả phân tích hiệu năng của mạng cảm biến không dây sử dụng thiết bị bay không người lái có gắn máy chủ điện toán biên hỗ trợ cho nhiều nút cảm biến dựa trên kỹ thuật truyền thông tán xạ ngược. Chúng tôi đã tiến hành xây dựng các mô hình: mô hình hệ thống, mô hình tín hiệu, mô hình năng lượng và mô hình giảm tải. Đồng thời, để khảo sát hiệu năng của hệ thống, chúng tôi đã xây dựng các biểu thức xác suất tính toán thành công và xác suất dừng năng lượng. Hành vi của hệ thống cũng được khảo sát theo các tham số chính như công suất phát của trạm RF, độ cao của UAV, các hệ số tán xạ, hệ số phân chia tác vụ, số lượng nút cảm biến, độ lớn dữ liệu. Kết quả khảo sát cho thấy để cải thiện hiệu năng của hệ thống mạng cảm biến không dây này, chúng ta có thể tăng công suất phát của trạm RF, tăng số lượng nút cảm biến, giảm độ lớn dữ liệu và lựa chọn các giá trị hệ số tán xạ, hệ số phân chia tác vụ và độ cao của UAV phù hợp. Trong tương lai, chúng tôi phát triển theo hướng xem xét hiệu năng tính toán và năng lượng cùng lúc và đồng thời hình thành bài toán tối ưu hiệu năng hệ thống.

$$\begin{aligned} \Pi &= \Pr\left(\frac{a_A H_A}{a_B H_B + 1} \geq 2^{\frac{\Delta_A}{W}} - 1, a_B H_B \geq 2^{\frac{\Delta_B}{W}} - 1\right) = \Pr\left(H_A \geq \frac{(2^{\frac{\Delta_A}{W}} - 1)(a_B H_B + 1)}{a_A}, H_B \geq \frac{2^{\frac{\Delta_B}{W}} - 1}{a_B}\right) \\ &= \int_{\frac{2^{\frac{\Delta_B}{W}} - 1}{a_B}}^{\infty} \left[1 - F_{H_A}\left(\frac{(2^{\frac{\Delta_A}{W}} - 1)(a_B t + 1)}{a_A}\right)\right] f_{H_B}(t) dt \\ &\stackrel{(a)}{=} 4 \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \binom{M}{m} \binom{N}{n} (-1)^{M+N-m-n} \frac{(N-n)}{\lambda_{RB} \lambda_{BU}} \int_0^{\varpi} \sqrt{\frac{(M-m)(2^{\frac{\Delta_A}{W}} - 1)(a_B(-\ln u) + 1)}{\lambda_{RA} \lambda_{AU} a_A}} \\ &\quad K_1\left(2\sqrt{\frac{(M-m)(2^{\frac{\Delta_A}{W}} - 1)(a_B(-\ln u) + 1)}{\lambda_{RA} \lambda_{AU} a_A}}\right) K_0\left(2\sqrt{\frac{(N-n)(-\ln u)}{\lambda_{RB} \lambda_{BU}}}\right) \frac{du}{u} \\ &\stackrel{(b)}{=} \frac{4\pi}{Q} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{q=1}^Q \binom{M}{m} \binom{N}{n} \frac{(N-n)(-1)^{M+N-m-n}}{\lambda_{RB} \lambda_{BU}} \sqrt{\frac{(M-m)(2^{\frac{\Delta_A}{W}} - 1)(a_B(-\ln u_q) + 1)}{\lambda_{RA} \lambda_{AU} a_A}} \\ &\quad K_1\left(2\sqrt{\frac{(M-m)(2^{\frac{\Delta_A}{W}} - 1)(a_B(-\ln u_q) + 1)}{\lambda_{RA} \lambda_{AU} a_A}}\right) K_0\left(2\sqrt{\frac{(N-n)(-\ln u_q)}{\lambda_{RB} \lambda_{BU}}}\right) \sqrt{\frac{1-x_q}{1+x_q}}. \end{aligned}$$

Bước (a) có được là do sử dụng kết quả (11) và (14) và thay biến bằng cách đặt $u = e^{-t}$ và $\varpi = e^{-\omega}$ với $\omega = \frac{2^{\frac{\Delta_B}{W}} - 1}{a_B}$. Bước (b) có được nhờ áp dụng phương pháp tích phân Gaussian-Chebyshev. Định lý 1 đã được chứng minh.

Phụ lục B: Chứng minh Định lý 2

$$\begin{aligned} \Lambda_{EOP} &= 1 - \Pr(E_A^{local} < E_A^h, E_B^{local} < E_B^h) \\ &= 1 - \Pr(|h_{RA}|^2 > \Omega_A) \Pr(|h_{RB}|^2 > \Omega_B) \\ &= 1 - [1 - F_{|h_{RA}|^2}(\Omega_A)] [1 - F_{|h_{RB}|^2}(\Omega_B)]. \end{aligned}$$

Áp dụng các biểu thức (7) và (8), ta đã chứng minh được Định lý 2.

Tài liệu tham khảo

- J. Amutha, S. Sharma, and J. Nagar, WSN strategies based on sensors, deployment, sensing models, coverage and energy efficiency: Review, approaches and open issues, *Wireless Pers. Commun.*, vol. 111, no. 2, pp. 1089-1115 (2020).
- H. N. Saha, R. Roy, M. Chakraborty, C. Sarkar, IoT-enabled agricultural system application, challenges and security issues," *Agricultural Inform.: Automat. Using the IoT and Machine Learning*, pp. 223-247 (2021).
- N. Abbas, Y. Zhang, A. Taherkordi, T. Skeie, Mobile edge computing: A survey, *IEEE Internet of Things J.*, vol. 5, no. 1, pp. 450-465 (2017).
- H. Liu, F. Eldarrat, H. Alqahtani, A. Reznik, X. De Foy, Y. Zhang, Mobile edge cloud system: Architectures, challenges, and approaches, *IEEE Systems J.*, vol. 12, no. 3, pp. 2495-2508 (2017).
- A. Masaracchia, Y. Li, K. K. Nguyen, C. Yin, S. R. Khosravirad, D. B. D. Costa, T. Q. Duong, UAV-enabled ultra-reliable low latency communications for 6G: A comprehensive survey, *IEEE Access*, vol. 9, pp. 137338-137352 (2021).
- Y. Zhang, *Mobile Edge Computing*, ch. Mobile Edge Computing for UAVs, Springer International Publishing, pp. 65-80 (2022).
- Wu, W., Wang, X., Hawbani, A., Yuan, L., Gong, W.: A survey on ambient backscatter communications: Principles, systems, applications, and challenges. *Computer Networks*, vol. 216, iss. C (2022).
- Nguyen, M.T., Nguyen, C.V., Tran, H.T., Viola, F.: Energy harvesting for mobile agents supporting wireless sensor networks. *Energy Harvest. Syst.* (2022).
- Du, J., et al.: When Mobile-Edge Computing (MEC) Meets Nonorthogonal Multiple Access (NOMA) for the Internet of Things (IoT): system design and optimization. *IEEE Internet Things J.* 8(10), 7849-7862 (2020).
- Truong, V.-T., Vo, M.-T., Ha, D.-B.: Performance analysis of mobile edge computing network applied uplink NOMA with RF energy harvesting. In: Vo, N.-S., Hoang, V.-P., Vien, Q.-T.(eds.) *INISCOM 2021*. LNCS, vol. 379, pp. 57-72. Springer, Cham (2021).
- Guo, J., Zhou, X., Durrani, S., Yanikomeroğlu, H.: Design of nonorthogonal multiple access enhanced backscatter communication. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 17, no. 10, pp. 6837-6852 (2018).
- V. -T. Truong, Dac-Binh Ha, M. -T. Vo, RF Energy Harvesting and Security Offloading Protocol for MEC-enabled NOMA Networks with Passive Eavesdropper, *International Conference on Advanced*

- Technologies for Communications (ATC), Da Nang, Vietnam, pp. 51-56 (2023).
13. Ihsan A., Chen, W., Khan, W. U., Wu, Wang, Q., K.: Energy-efficient backscatter aided uplink NOMA roadside sensor communications under channel estimation errors. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 24, no. 5, pp. 4962-4974 (2023).
 14. I. Gradshteyn and I. Ryzhik, *Table of Integrals, Series, and Products*. Elsevier Academic Press (2007).

Ứng dụng học máy trong việc dự đoán trạng thái sức khỏe SOH của Pin Lithium ion

Nông Trọng Tú*, Dương Văn Hoà

Trung tâm Điện – Điện tử, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

*Email: nongtrongtu@dtu.edu.vn,

Tóm tắt: Với sự phổ biến của pin lithium-ion trong nhiều lĩnh vực, việc ước tính trạng thái sức khỏe (SOH) của pin là điều cần thiết để đảm bảo hiệu quả và an toàn trong quá trình sử dụng. Mặc dù các phương pháp dựa trên mô hình đã được áp dụng rộng rãi để ước tính SOH, những thách thức trong việc mô hình hóa pin đã dẫn đến sự quan tâm ngày càng tăng đối với các phương pháp học máy. Bài báo này giới thiệu một phương pháp đánh giá SOH dựa trên phân tích dữ liệu theo miền thời gian. Phương pháp này tập trung vào việc xử lý và phân tích dữ liệu trong miền thời gian để xác định các mối quan hệ với dung lượng sử dụng được của pin. Chúng tôi cũng thực hiện so sánh hiệu quả của phương pháp này với các mô hình mạng nơ ron khác nhau như mạng nơ ron truyền thẳng (FNN), mạng neural tích chập (CNN), và mạng bộ nhớ dài ngắn hạn (LSTM). Kết quả cho thấy, phương pháp phân tích theo miền thời gian có thể cung cấp độ chính xác cao và đáp ứng tốt nhu cầu ước tính SOH, đặc biệt là khi lượng dữ liệu huấn luyện hạn chế.

Từ khóa: Mạng nơ ron truyền thẳng (FNN), mạng nơ ron tích chập (CNN), mạng bộ nhớ dài ngắn hạn (LSTM), trạng thái sức khỏe (SOH).

1. Giới thiệu

Với khả năng lưu trữ năng lượng, tuổi thọ tốt hơn các loại pin truyền thống thì Pin lithium được sử dụng rộng rãi áp dụng cho nhiều lĩnh vực sản xuất cũng như đời sống. Tuy nhiên vẫn còn nhiều thách thức đáng kể như an toàn và rủi ro hoả hoạn, lão hoá và giảm hiệu suất, chi phí, tài nguyên và tái chế...

Bài báo đi sâu nghiên cứu ước lượng sức khỏe của pin, là thành phần quan trọng trong hệ thống quản lý pin (BMS) [1], đây là hệ thống được thiết kế để quản lý và giám sát pin trong một gói hoặc một hệ thống pin giúp pin làm việc an toàn, hiệu quả và lâu dài. SOH cung cấp cho hệ thống BMS thông tin về hiệu suất hiện tại của pin so với khả năng tối ưu ban đầu, bằng cách theo dõi sự suy giảm của SOH theo thời gian mà đưa phương án thay thế khi cần thiết. Trạng thái sức khỏe (SOH) thường được định nghĩa là tỷ lệ giữa dung lượng hiện tại và dung lượng danh nghĩa, được thể hiện bởi:

$$SOH = \frac{C_i}{\hat{C}_i} \quad (1)$$

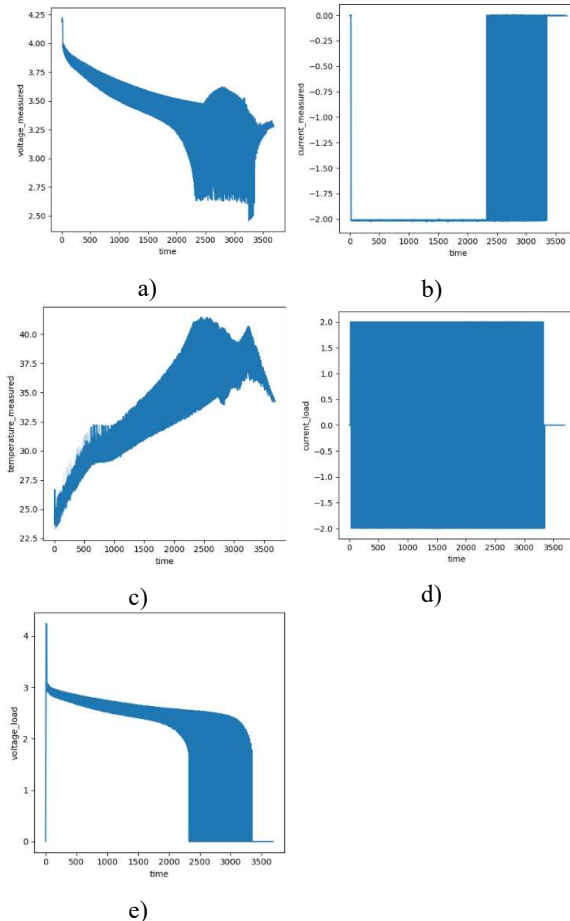
Với: C_i - Là dung lượng hiện tại

\hat{C}_i - Là dung lượng danh nghĩa

Thông thường sẽ có 2 phương pháp để ước lượng sức khỏe pin là dựa trên mô hình vật lý hoặc dựa trên tập dữ liệu của pin. Với mô hình vật lý có thể kể đến một số mô hình đã được đề xuất và nghiên cứu như mô hình mạch tương đương (ECM), Mô hình sử dụng bộ lọc Kalman (KF/EKF), mô hình 2 chiều (P2D). Tuy nhiên, độ chính xác đầu ra của các mô hình này phụ thuộc về thiết kế tham số chính xác, quy trình tính toán phức tạp và sự hiểu biết về điện hoá học của pin.

Để khắc phục các thách thức trong việc lập mô hình, tăng độ chính xác trong quá trình ước lượng bài báo đã nghiên cứu theo hướng sử dụng dữ liệu của pin đồng thời đề xuất phương án ước lượng sử dụng mạng nơ ron [2].

2. Dữ liệu về pin của NASA



Hình 1. Mô tả các tham số pin theo thời gian

Ba nhóm pin lithium-ion [3] được giới thiệu $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$ (Nickel Cobalt Aluminum Oxide - NCA) với các tỷ lệ xả khác nhau đã được chọn cho các thí nghiệm từ bộ dữ liệu NASA. Nghiên cứu đã sử dụng một bộ gồm bốn pin Li-ion (B0005, B0006, B0007 và B0018) được sạc và xả ở nhiệt độ phòng (24°C). Dòng điện 1.5 A được sử dụng để sạc pin cho đến khi nó đạt tới 4.2 V. Quá trình sạc sau đó dừng lại ở chế độ CV khi dòng điện sạc giảm xuống dưới 20 mA. Dòng điện 2 A ổn định được sử dụng để xả pin cho đến khi B0006 và B0018 đạt đến mức điện áp định trước là 2.5 V, trong khi B0005 và B0007 lần lượt đạt 2.7 V và 2.2 V. Thí nghiệm kết thúc khi pin đạt tiêu chuẩn cuối đời (EOL), đó là khi dung lượng định mức giảm 30% (từ 2 Ah xuống còn 1.4 Ah). Cần lưu ý rằng bốn pin này có dung lượng ban đầu lần lượt là 1.8565, 2.0353, 1.8911 và 1.855 Ah. Điều này ngụ ý rằng pin có một chút không đều từ đầu. Bốn pin này có tỷ lệ xả là 1 C.

3. Phương pháp ước lượng sức khoẻ pin Lithium-ion

Trong phần này, chúng tôi phân tích các bước ước lượng SOH [4], mô hình dự đoán SoH được thực hiện bằng cách sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo (Neural Network), một kỹ thuật thuộc về deep learning [5]. Mô tả nghiên cứu được thể hiện ở hình 2 và các các bước thực hiện như sau:

Sơ đồ biểu diễn quy trình ước lượng State of Health (SOH) của pin dựa trên dữ liệu từ NASA và sử dụng các phương pháp học máy, quy trình gồm 4 giai đoạn:

Data Acquisition (Thu thập dữ liệu): Dữ liệu được lấy từ NASA Dataset về các thông số liên quan đến pin bao gồm điện áp, dòng điện, thời gian và dung lượng.

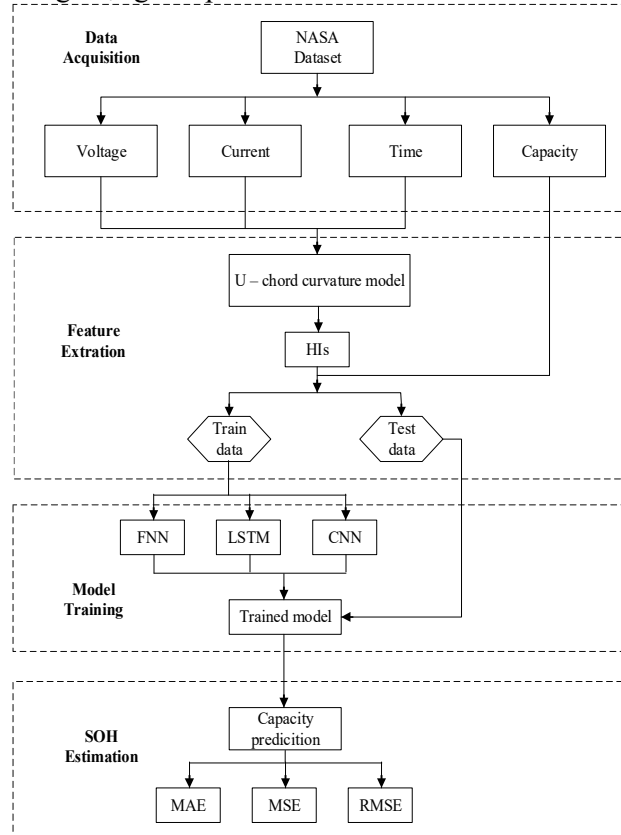
Feature Extraction (Trích xuất đặc trưng): Sau khi dữ liệu được thu thập, bước tiếp theo là trích xuất các đặc trưng bằng cách sử dụng U-chord curvature model. U-chord curvature model sử dụng His để trích xuất các đặc trưng hữu ích từ dữ liệu thu thập được. Các đặc trưng sau đó được chia thành Train data (dữ liệu huấn luyện) và Test data (dữ liệu kiểm thử).

Model Training (Huấn luyện mô hình): Dữ liệu huấn luyện được đưa vào các mô hình học máy khác nhau, bao gồm:

- FNN (Feedforward Neural Network): Mạng nơ-ron truyền thẳng.
- LSTM (Long Short-Term Memory): Một dạng mạng nơ-ron hồi quy dùng để xử lý dữ liệu tuần tự.

- CNN (Convolutional Neural Network): Mạng nơ-ron tích chập.

Các mô hình này sẽ được huấn luyện để dự đoán dung lượng của pin.



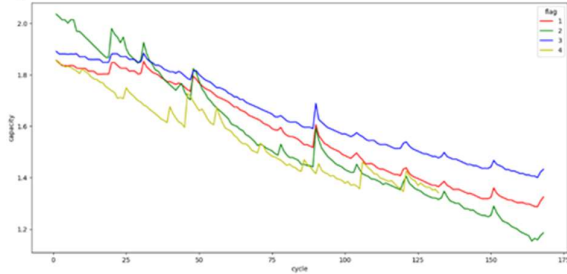
Hình 2. Sơ đồ mô tả ước lượng SoH

SOH Estimation (Ước lượng SOH): Sau khi mô hình đã được huấn luyện, mô hình sẽ dự đoán dung lượng pin và từ đó ước lượng SOH. Kết quả dự đoán được đánh giá bằng các chỉ số sai số khác nhau như: MAE (Mean Absolute Error): Sai số trung bình tuyệt đối; MSE (Mean Squared Error): Sai số bình phương trung bình; RMSE (Root Mean Squared Error): Căn bậc hai của sai số bình phương trung bình.

3.1 Chuẩn bị dữ liệu

Từ dữ liệu bộ 4 pin lithium-ion chúng tôi đã tách và lấy thông tin chu kỳ dòng xả để xử lý. Mỗi chu kỳ dòng xả sẽ chứa giá trị đo lường khác nhau như điện áp, dòng điện, nhiệt độ ... Sau đó tiến hành gộp dữ liệu từ 4 bộ pin thành một khung hình dữ liệu, đây là dữ liệu để tiến hành ước lượng cho nghiên cứu này. Việc tách riêng dữ liệu từ các chu kỳ xả của pin là cần thiết để phân tích chính xác hiệu suất và dự đoán dung lượng còn lại của pin. Chu kỳ xả là giai đoạn mà pin thực sự cung cấp năng lượng, do đó các thông số thu được phản ánh đúng khả năng lưu trữ và cung cấp năng lượng của pin. Điều này giúp tăng độ

chính xác trong việc đánh giá tình trạng sức khỏe pin (SoH) và dự đoán tuổi thọ pin, loại bỏ nhiễu từ các chu kỳ khác như sạc hoặc nghỉ, đảm bảo mô hình dự đoán tập trung vào các thông số có ý nghĩa nhất.



Hình 3. Dung lượng dòng xả 4 pin nghiên cứu

3.2 Quá trình học máy

Như được trình bày trong Hình 2, quy trình đề xuất để ước lượng SOH của pin bao gồm ba giai đoạn: tiền xử lý dữ liệu, huấn luyện mô hình, và đánh giá hiệu suất. Trong giai đoạn tiền xử lý dữ liệu, các giá trị thiếu và bất thường được loại bỏ khỏi dữ liệu thô của pin. Sau khi làm sạch dữ liệu, dữ liệu theo thời gian được chuyển đổi thành dữ liệu dựa trên SOH, và các đặc trưng của pin được trích xuất. Dữ liệu đặc trưng sau đó được chia thành tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra. Trong giai đoạn huấn luyện mô hình, tập dữ liệu huấn luyện được chia thành dữ liệu huấn luyện và dữ liệu xác thực. Chúng tôi đã huấn luyện các mô hình FNN, CNN, và LSTM bằng cách sử dụng dữ liệu huấn luyện. Các siêu tham số của mô hình đã được điều chỉnh bằng dữ liệu xác thực. Trong giai đoạn đánh giá hiệu suất, mô hình đã được huấn luyện được kiểm tra bằng cách sử dụng tập dữ liệu kiểm tra và hiệu suất của nó được đánh giá bằng các chỉ số lỗi tuyệt đối trung bình (MAE) [6], lỗi phần trăm tuyệt đối trung bình (MAPE) [7], và lỗi bình phương trung bình (MSE) [8].

Tiền xử lý dữ liệu

Trong quá trình chuẩn đoán SOH của pin, tiền xử lý dữ liệu là bước quan trọng quyết định hiệu quả của mô hình học máy. Tiền xử lý dữ liệu giúp làm sạch và biến đổi dữ liệu thô thành dạng phù hợp cho các mô hình dự báo, đồng thời tăng cường tính chính xác của mô hình khi áp dụng vào dữ liệu thực tế. Các bước chính trong tiền xử lý dữ liệu bao gồm xử lý thiếu dữ liệu, loại bỏ dữ liệu nhiễu, chuẩn hóa và chuẩn hoá dữ liệu, chuyển đổi dữ liệu, trích xuất đặc trưng, và cân bằng dữ liệu. Chúng tôi đã chuẩn hoá dữ liệu SOH bằng phương pháp min-max:

$$z_{nm}^k = \frac{x_{nm}^k - \min(x_n)}{\max(x_n) - \min(x_n)} \quad \begin{matrix} n \in \{1, \dots, 5\} \\ m \in \{1, \dots, s\} \end{matrix} \quad (2)$$

Trong đó k là số chu kỳ, m là điểm lấy mẫu m-th, và x_n là tập hợp của hàng n-th trong Phương trình (2) của tất cả các chu kỳ sạc.

Các chu kỳ sạc và xả lặp đi lặp lại dẫn đến quá trình lão hóa pin nhanh hơn trong khi các phép đo trở kháng cung cấp thông tin chi tiết về các thông số pin bên trong thay đổi khi quá trình lão hóa diễn ra. Thí nghiệm đã dừng lại khi dung lượng sạc của pin đạt tới 70% dung lượng sạc ban đầu [9].

Huấn luyện mô hình

Trong giai đoạn huấn luyện mô hình, chúng tôi chia tập dữ liệu huấn luyện thành dữ liệu huấn luyện và dữ liệu xác thực. Để so sánh độ chính xác của nghiên cứu chúng tôi đã áp dụng tập dữ liệu dựa trên SOH cho ba mô hình học máy khác nhau: các kiến trúc FNN, CNN và LSTM. Cấu trúc của các mô hình được tóm tắt trong Bảng 1.

Bảng 1. Cấu trúc các mô hình huấn luyện

Mô hình	Tổng tham số	Tham số huấn luyện	Tham số tối ưu
CNN	13,061	4,353	8,708
FNN	13,061	4,353	8,708
LSTM	95,705	31,901	63,804

Tập dữ liệu huấn luyện được chia thành dữ liệu huấn luyện và dữ liệu xác thực, với tỷ lệ dữ liệu huấn luyện so với dữ liệu xác thực là hai phần ba. Việc mô phỏng được thực hiện bằng PyTorch 1.7 và tính toán trên GeForce GTX 1080Ti. Hàm mất mát (loss function) cho quá trình huấn luyện được biểu diễn bằng MSE (Mean Squared Error) như sau:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_i - \hat{C}_i)^2 \quad (3)$$

Trong đó, C_i là dung lượng thực tế, \hat{C}_i là dung lượng ước tính, và N là số lượng tập dữ liệu.

+ Mạng Nơ-ron Truyền thẳng (FNN)

FNN là một mạng nơ-ron nhân tạo, là một đồ thị không có chu kỳ và là mạng nơ-ron đơn giản nhất. FNN, đóng vai trò quan trọng trong học máy để làm cơ sở cho nhiều kiến trúc khác, bao gồm nhiều lớp perceptron với một hàm kích hoạt phi tuyến [10]. Chúng tôi đã sử dụng cấu trúc đơn giản nhất của FNN, bao gồm ba lớp: lớp đầu vào, lớp ẩn và lớp đầu ra.

+ Mạng Nơ-ron Tích chập (CNN)

CNN, sử dụng phép toán tích chập (convolution) toán học, là một loại mạng nơ-ron truyền thẳng (FNN) chuyên dụng để xử lý dữ liệu dạng lưới. Một lớp của mạng tích chập bao gồm

ba giai đoạn. Trong giai đoạn đầu tiên, phép toán tích chập, trong trường hợp rời rạc 1-D, được thực hiện song song [10] như sau:

$$s(t) = (x * \omega)(t) = \sum_a x(a)\omega(t-a) \quad (4)$$

Trong đó, x là ma trận đầu vào, w là ma trận hạt nhân, và $*$ là toán tử tích chập. Trong giai đoạn thứ hai, mỗi kết quả của phép toán tích chập được đưa qua một hàm kích hoạt phi tuyến, cụ thể là hàm tăng hyperbolic. Trong giai đoạn thứ ba, một hàm max-pooling được thực hiện trên các kết quả. Hai lớp của mạng tích chập và các lớp kết nối hoàn toàn với 40 nơ-ron ẩn là cần thiết, như được trình bày trong Bảng 2. Tỷ lệ dropout để điều chỉnh được thiết lập là 20%.

+ Mạng Bộ nhớ dài hạn ngắn (LSTM)

LSTM là một loại đặc biệt của mạng nơ-ron hồi quy (RNN), cho phép các đầu ra tại mỗi bước thời gian được sử dụng làm đầu vào để xử lý dữ liệu tuần tự. Sự khác biệt giữa LSTM và RNN đơn giản là trọng số trên vòng lặp tự thân của LSTM được điều chỉnh dựa trên ngữ cảnh thay vì cố định [10]. Các tế bào trong LSTM được kết nối hồi quy với nhau. Các giá trị đầu vào được tính toán với một đơn vị nơ-ron thông thường có thể được tích lũy trong trạng thái nếu công đầu vào cho phép. Đơn vị trạng thái có một vòng lặp tự thân được kiểm soát bởi cổng quên, và cổng đầu ra có thể chặn đầu ra của tế bào LSTM. LSTM được tính toán [11] như sau:

$$f_i = \sigma(\mathbf{W}_f x_t + U_f h_{t-1} + b_f) \quad (5)$$

$$i_t = \sigma(\mathbf{W}_i x_t + U_i h_{t-1} + b_i) \quad (6)$$

$$o_t = \sigma(\mathbf{W}_o x_t + U_o h_{t-1} + b_o) \quad (7)$$

$$\tilde{c}_t = \tanh(\mathbf{W}_c x_t + U_c h_{t-1} + b_c) \quad (8)$$

$$c_t = f_t \circ c_{t-1} + i_t \circ \tilde{c}_t \quad (9)$$

$$h_t = o_t \circ \tanh(c_t) \quad (10)$$

Trong đó, ở state thứ t của mô hình LSTM, véc tơ đầu vào x_t ở state thứ t của model c_{t-1}, h_{t-1} là output của layer trước. với output c_t, h_t ta gọi c là cell state, h là hidden state

Đánh giá hiệu suất

Để đánh giá hiệu suất của các mô hình, MSE đã được tính toán từ dữ liệu kiểm tra. Ngoài ra, MAE và MAPE cũng được tính toán để đánh giá hiệu suất như sau:

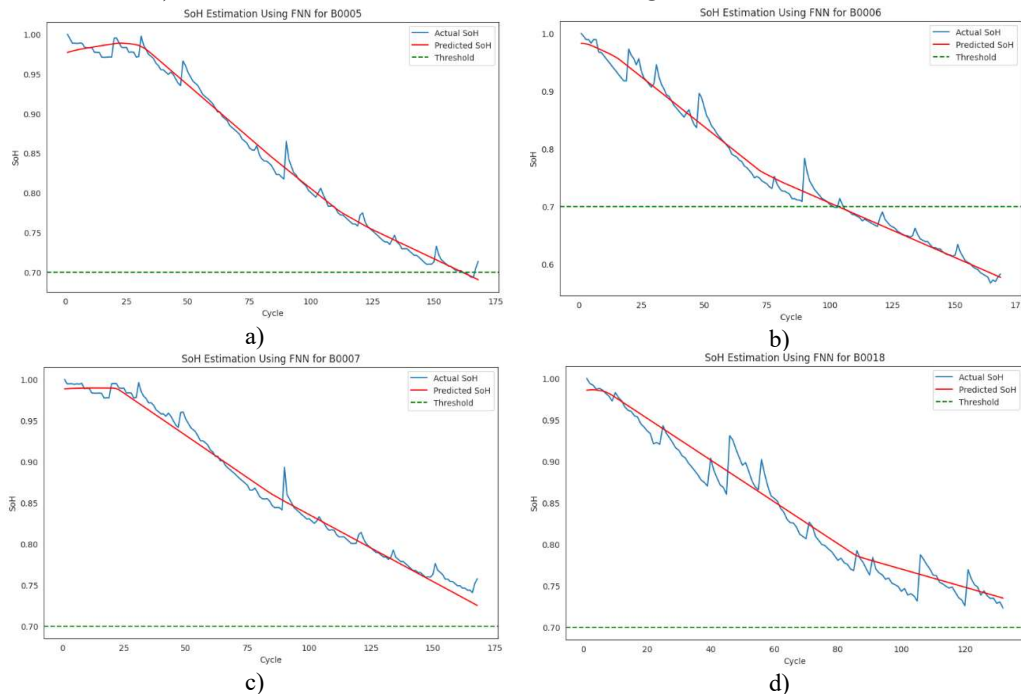
$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |C_i - \hat{C}_i| \quad (11)$$

$$MAPE = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{C_i - \hat{C}_i}{C_i} \right| \quad (12)$$

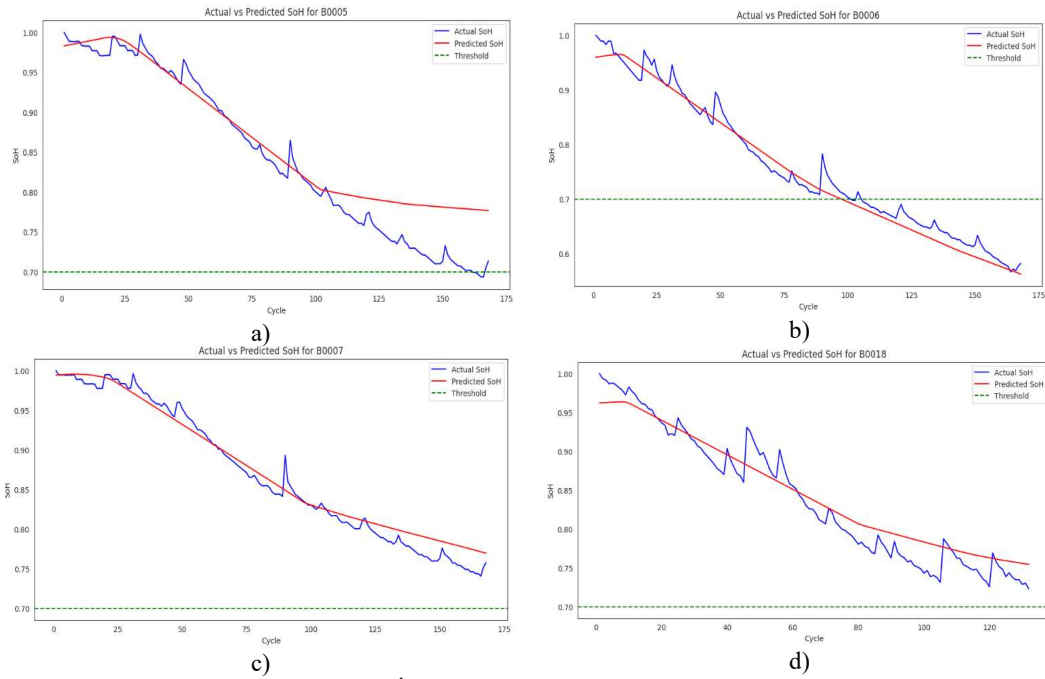
Trong đó C_i là dung lượng thực tế, là dung lượng ước lượng, N là số lượng tập dữ liệu.

4. Kết quả

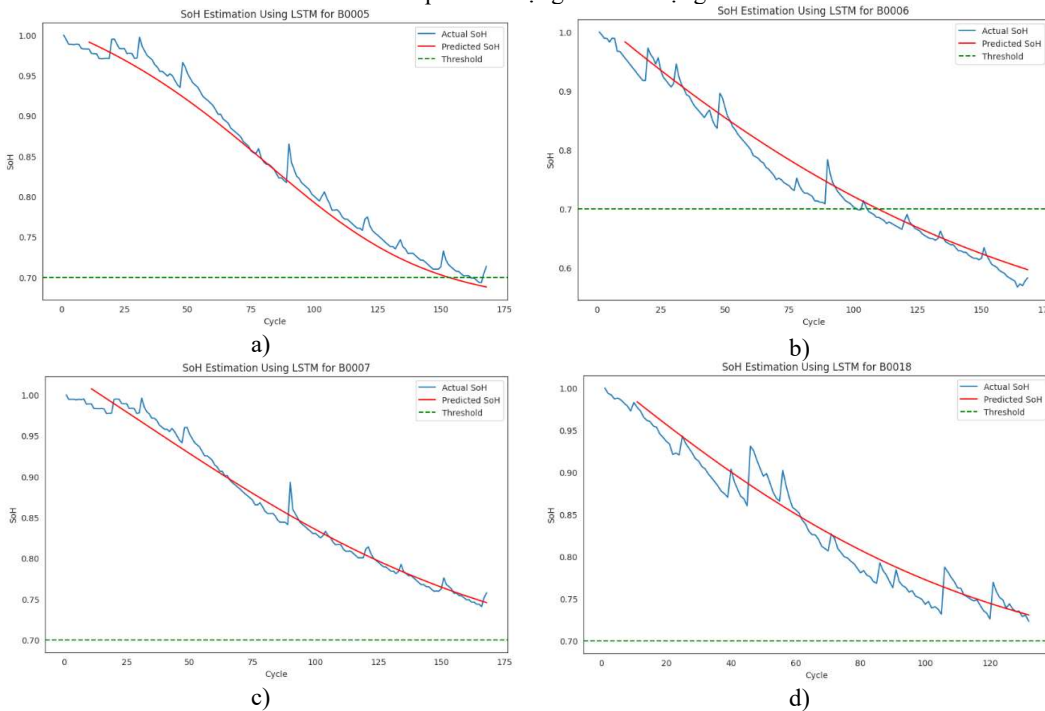
Để đánh giá độ tin cậy của phương pháp ước tính SOH dựa trên lấy mẫu theo thời gian, chúng tôi đã tiến hành so sánh với các phương pháp khác trong điều kiện dữ liệu hạn chế. Kết quả cho thấy sự khác biệt đáng kể trong khả năng ước tính SOH giữa các phương pháp khi cùng dùng chung một lượng dữ liệu đào tạo.



Hình 4. Kết quả ước lượng SOH sử dụng FNN



Hình 5. Kết quả ước lượng SOH sử dụng CNN



Hình 6. Kết quả ước lượng SOH sử dụng LSTM

Với mô hình đơn giản nhất FNN cho ra sai số MAPE thấp nhất 1,1152%. Bảng 1 cho thấy tổng số tham số trong các mô hình FNN, CNN và LSTM lần lượt là 13.061, 13.061 và 95.705. Với dữ liệu huấn luyện nhỏ, kết quả này cho thấy FNN vượt trội hơn các mô hình phức tạp như CNN và LSTM. Trong các mô hình được huấn luyện với dữ liệu lớn, CNN đạt MAPE thấp nhất là 2,0029. Tuy nhiên, không có sự khác biệt đáng kể về MAPE giữa các phương pháp xử lý dữ liệu.

Bảng 2. Lỗi ước lượng trong các mô hình và chu kỳ huấn luyện

Model	MAE	MSE	MAPE
FNN	0.0092	0.00016	1.1152
CNN	0.0148	0.00037	2.0029
LSTM	0.0131	0.0003	1.5699

5. Kết luận

Chúng tôi đã đề xuất một phương pháp tiên xử lý mới cho các mô hình học máy nhằm cải thiện việc ước lượng SOH của pin. Để so sánh phương pháp đề xuất với phương pháp tiên xử lý chung

dựa trên khoảng thời gian cố định, hệ số tương quan giữa các tập dữ liệu và dung lượng sử dụng đã được tính toán. Kết quả cho thấy các tập dữ liệu được xử lý bằng phương pháp đề xuất có sự tương quan cao hơn với dung lượng sử dụng so với các tập dữ liệu dựa trên thời gian chung.

Hơn nữa, chúng tôi đã thử nghiệm nhiều mô hình học máy khác nhau như FNN, CNN và LSTM sử dụng các tập dữ liệu. Kết quả của chúng tôi cho thấy mô hình FNN đơn giản nhất sử dụng phương pháp đề xuất dự đoán SOH của pin với độ chính xác tương đương với các mô hình phức tạp như CNN và LSTM. Hơn nữa, giá trị MAPE của mô hình FNN là 1.1152, thấp hơn so với 2.0029 của mô hình CNN và 1.5699 của mô hình LSTM khi thử nghiệm trên dữ liệu huấn luyện nhỏ. Các phát hiện của chúng tôi cho thấy phương pháp đề xuất có thể được sử dụng để cải thiện độ chính xác của các thiết bị với tài nguyên tính toán hạn chế. Do đó, các phát hiện của chúng tôi có thể được áp dụng vào việc ước lượng SOH trên các nền tảng phần cứng hạn chế tài nguyên. Hướng phát triển trong tương lai, chúng tôi dự định tích hợp phương pháp đề xuất vào các thiết bị nhúng.

Tài liệu tham khảo

- Whittingham, M.S. Electrical Energy Storage and Intercalation Chemistry. *Science* 1976, 192, 1126–1127.
- Stan, A.I.; Swierczyński, M.; Stroe, D.I.; Teodorescu, R.; Andreasen, S.J. Lithium Ion Battery Chemistries from Renewable Energy Storage to Automotive and Back-up Power Applications—An Overview. In Proceedings of the 2014 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), Bran, Romania, 22–24 May 2014; pp. 713–720.
- <https://www.nasa.gov/intelligent-systems-division/discovery-and-systems-health/pcoe/pcoe-data-set-repository/>
- Huang, S.C.; Tseng, K.H.; Liang, J.W.; Chang, C.L.; Pecht, M.G. An Online SOC and SOH Estimation Model for Lithium-Ion Batteries. *Energies* 2017, 10, 512.
- S. Li, B. Li, and W. Zhao. (2020). Joint Optimization of Caching and Computation in Multi-Server NOMA-MEC System via Reinforcement Learning. *IEEE Access*, vol. 8, pp. 112762–112771.
- Choi, Y., Ryu, S., Park, K., & Kim, H. (2019). Machine learning-based lithium-ion battery capacity estimation exploiting multi-channel charging profiles. *Ieee Access*, 7, 75143-75152.
- Chaoui, H., Ibe-Ekeocha, C. C., & Gualous, H. (2017). Aging prediction and state of charge estimation of a LiFePO4 battery using input time-delayed neural networks. *Electric Power Systems Research*, 146, 189-197.
- Zhang, Y., Tang, Q., Zhang, Y., Wang, J., Stimming, U., & Lee, A. A. (2020). Identifying degradation patterns of Lithium Ion batteries from impedance spectroscopy using machine learning. *Nature communications*, 11(1), pp. 1-6.
- Zhang, L.; Fan, W.; Wang, Z.; Li, W.; Sauer, D.U. Battery Heating for Lithium-Ion Batteries Based on Multi-Stage Alternative Currents. *J. Energy Storage* 2020, 32, 101885.
- Goodfellow, I.; Bengio, Y.; Courville, A. *Deep Learning*; MIT Press: Cambridge, MA, USA, 2016.
- Hochreiter, S.; Schmidhuber, J. Long Short-Term Memory. *Neural Comput.* 1997, 9, 1735–1780

Robot Vệ Sinh Tự Động Sử Dụng công nghệ LiDAR

Trần Văn Tín, Phan Thanh Hùng*, Trần Thuận Hoàng

¹ *Trung tâm Điện – Điện tử, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*

*Email: phanthanhhungdhdt@gmail.com

Tóm tắt: Robot vệ sinh tự động sử dụng công nghệ LiDAR là một trong những giải pháp cấp thiết trong bối cảnh hiện nay, trong khi nhu cầu làm sạch môi trường của con người ngày càng tăng cao, đặc biệt tại các khu vực đô thị và trường học có tốc độ phát triển nhanh chóng. Sự kết hợp giữa điều khiển thuật toán PID để kiểm soát chuyển hướng và tốc độ của Robot, cùng với hệ thống trợ giúp LiDAR thông minh có khả năng tự điều chỉnh các hoạt động dựa trên thu thập dữ liệu từ môi trường thực tế, nhờ đó tối ưu hóa toàn bộ quy trình làm sạch. Phương pháp này đã được tiến hành thử nghiệm ở nhiều môi trường khác nhau để đánh giá hiệu quả làm sạch chính xác, khả năng điều chỉnh tự động cũng như hiệu quả tiết kiệm năng lượng của robot. Kết quả được thấy, nhờ sự kết hợp của những công nghệ tiên tiến và hiện đại này, robot có thể hoạt động hoàn toàn tự động, không cần can thiệp hiệu suất qua thời gian vận hành mà vẫn có thể thích ứng với nhiều điều kiện môi trường khác nhau, từ đó tiết kiệm năng lượng tối đa và mang lại hiệu quả cao trong việc bảo vệ môi trường.

Từ khóa: Robot vệ sinh tự động, LiDAR, thuật toán PID, thuật toán SLAM, tối ưu hóa quy trình làm sạch và tránh vật cản.

Abstract : The Automated cleaning robots using LiDAR technology are among the urgent solutions in the current context, as the demand for environmental cleanliness continues to rise, especially in rapidly developing areas such as urban zones and schools. The combination of PID algorithm control to manage the robot's direction and speed, along with a smart LiDAR-assisted system capable of adjusting its operations based on real-time environmental data, optimizes the entire cleaning process. This method has been tested in various environments to evaluate the robot's cleaning efficiency, its ability to auto-adjust, and its energy-saving performance. The results show that, thanks to the integration of these advanced and modern technologies, the robot can operate fully autonomously. It does not just maintain performance over time but can also adapt to different environmental conditions, maximizing energy savings and delivering high efficiency in environmental protection.

Keyword: Automatic cleaning robot, LiDAR, PID algorithm, SLAM algorithm, optimization of cleaning process, and obstacle avoidance

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và quá trình đô thị hóa đang diễn ra với tốc độ nhanh chóng, các thành phố trên khắp thế giới đang phải đối mặt với một trong những thách thức lớn nhất của thời đại: quản lý và xử lý rác thải. Sự gia tăng dân số đô thị kéo theo sự bùng nổ về lượng rác thải, từ sinh hoạt, công nghiệp cho đến rác thải xây dựng. Những hệ thống xử lý rác thải truyền thống, dù đã được cải thiện trong nhiều thập kỷ qua, vẫn khó có thể đáp ứng được tốc độ gia tăng chóng mặt này. Hậu quả của việc xử lý rác thải không hiệu quả không chỉ gây ô nhiễm môi trường mà còn tạo ra những tác động tiêu cực lên sức khỏe cộng đồng, làm gia tăng nguy cơ các bệnh liên quan đến môi trường và ảnh hưởng đến chất lượng cuộc sống của người dân.

Dựa trên nền tảng công nghệ tiên tiến này, nghiên cứu “Robot vệ sinh tự động sử dụng công nghệ LiDAR” ra đời với mục tiêu tạo ra một hệ thống robot thu gom rác thải tự động thông minh, mang đến một phương thức xử lý rác thải hiệu quả và thân thiện với môi trường. Được trang bị cảm biến LiDAR [1], robot này có khả năng quét môi trường xung quanh, lập bản đồ [2] và xác định chính xác vị trí của rác thải. Thay vì cần sự can thiệp của con người, robot có thể tự động di

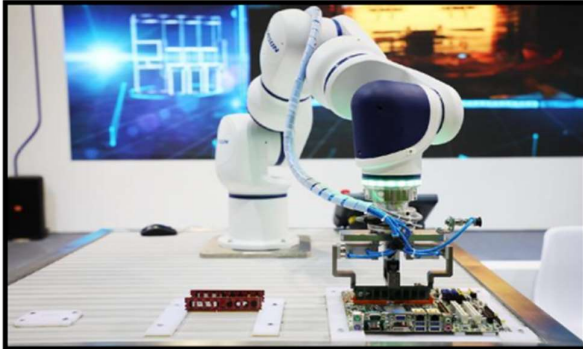
chuyển đến các vị trí cần dọn dẹp, giúp giảm tải áp lực lên các hệ thống xử lý rác thải hiện có.

Nghiên cứu về robot vệ sinh tự động sử dụng công nghệ LiDAR không chỉ là một giải pháp kỹ thuật mang tính thực tiễn mà còn thể hiện tầm nhìn xa về một tương lai bền vững. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và tình trạng ô nhiễm môi trường ngày càng gia tăng, việc phát triển những công nghệ xanh và thân thiện với môi trường như vậy là bước đi cần thiết và chiến lược. Không chỉ giúp các thành phố giảm bớt gánh nặng về xử lý rác thải, những robot thông minh này còn góp phần xây dựng một môi trường sống lành mạnh, trong sạch và bền vững cho thế hệ tương lai.

Chúng ta đang bước vào một kỷ nguyên mới, nơi công nghệ không chỉ đóng vai trò hỗ trợ mà còn có thể thay đổi hoàn toàn cách thức con người quản lý tài nguyên và bảo vệ môi trường. Robot thu gom rác tự động dựa trên công nghệ LiDAR chính là một trong những bước tiên quan trọng đó, mang đến hy vọng về một tương lai xanh, nơi rác thải không còn là vấn đề mà là nguồn tài nguyên được quản lý một cách thông minh và hiệu quả.

Robot [3] đã và đang xuất hiện trong cuộc sống của chúng ta từ lâu và ngày càng trở thành một phần không thể thiếu trong cuộc sống hiện đại.

Chúng đã góp phần mình vào công cuộc lao động, chính robot đang làm nên một cuộc cách mạng về lao động, khoa học, và đang phục vụ đắc lực cho các ngành khoa học như: Khoa học quân sự, khoa học giáo dục, các ngành dịch vụ, giải trí...



Hình 1: Robot gấp vật



Hình 2: Robot tự hành trong nhà kho

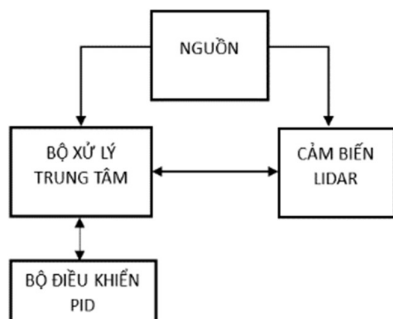
2. Mô hình hệ thống và các cách thức hoạt động

2.1. Mô hình hệ thống

Như hình 1, chúng tôi trình bày hệ thống sử dụng bộ điều khiển gồm 2 phần, sử dụng bộ điều khiển PID [4] và cảm biến Lidar.

Về việc sử dụng bộ điều khiển PID giúp robot duy trì vận tốc ổn định và đạt được mục tiêu di chuyển với vận tốc 0.5m/s.

Cảm biến Lidar giúp robot xác định vị trí chính xác trong không gian và điều chỉnh hướng tự động mà không cần sự can thiệp của con người, robot có thể tính toán và di chuyển theo lộ trình quét rác tối ưu.

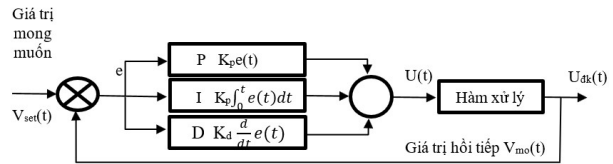


Hình 3: Sơ đồ khối hệ thống robot quét rác

2.2. Bộ điều khiển PID

Giải thuật điều khiển vi tích phân tỉ lệ hiệu chỉnh sai số giữa giá trị biến đo được và giá trị mong muốn đạt đến bằng cách tính toán và xuất ra một "hành động điều chỉnh" nhanh chóng để giữ cho lỗi ở mức nhỏ nhất có thể được. Bộ điều khiển này bao gồm 3 thông số: Proportional (P), Integral (I) và Derivative (D)

Sơ đồ khối PID:



Hình 4: Sơ đồ khối giải thuật PID

Phương pháp tổng quát:

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t). \quad (1)$$

Hàm lỗi $e(t)$ tại thời điểm t : độ chênh lệch giữa giá trị mong muốn và giá trị đo được:

$$e(t) = v_{set} - v_{mo}(t). \quad (2)$$

Trong đó:

v_{set} : Setpoint Value (giá trị điểm đặt điện áp mong muốn)

$v_{mo}(t)$: Measurable Output Value (giá trị điện áp đo được tại thời điểm t).

Proportional P(t) (hàm tỉ lệ): điều khiển tỉ lệ với giá trị lỗi hiện tại.

Giải thuật PID là một chuỗi các phép toán để xác định các giá trị của khâu điều khiển tỉ lệ, khâu điều khiển vi phân và khâu điều khiển tích phân. Sau đó, kết hợp các giá trị lại với nhau và xuất ra giá trị điều rộng xung PWM để điều khiển 2 động cơ bánh sau của robot. Khâu điều khiển tỉ lệ tính toán độ lệch của robot, xác định được robot đang lệch phải hay lệch trái đường và xuất ra các giá trị PWM để điều khiển hai động cơ giúp robot quay về vị trí mục tiêu.

Độ lệch:

$$V_{mo}(n) - V_{set}. \quad (3)$$

Đáp ứng khâu tỉ lệ:

$$P(n) = K_p \cdot e(n). \quad (4)$$

Trong đó: n là số lần lấy mẫu

Hằng số K_p càng lớn thì sự điều chỉnh càng lớn khi lỗi càng lớn. Ngược lại, K_p càng nhỏ thì sẽ đáp ứng điều chỉnh nhỏ đối với lỗi. Khâu điều khiển tích phân tính toán dựa trên sai số tích lũy theo thời gian. Robot càng lệch xa đường thì sai số tích lũy càng lớn. Khâu này thể hiện rằng trong quá khứ robot có bám đường đi tốt hay không.

Sai số tích lũy:

$$E(n) = \sum e(n) \quad n > 1 \quad (5)$$

$$E(n) = \sum e(n) \quad n \geq 1. \quad (6)$$

Đáp ứng khâu tích phân:

$$I(n) = K_i \cdot E(n). \quad (7)$$

Trong đó: n là số lần lấy mẫu Khâu vi phân tính toán dựa trên sai số hiện tại

Khâu này cho biết tốc độ robot dao động qua lại của đường đi:

Tốc độ dao động:

$$\Delta e(n) = e(n) - e(n-1). \quad (8)$$

Đáp ứng khâu vi phân:

$$D(n) = K_d \cdot \Delta e(n). \quad (9)$$

Cuối cùng, giá trị PWM để xuất ra điều khiển cho các động cơ điều khiển hoạt động của robot sẽ là:

$$\begin{aligned} PWM &= P(n) + I(n) + D(n) \\ &= K_p \cdot e(n) + K_i \cdot I(n) + K_d \cdot D(n). \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} PWM &= K_p \cdot [V_{mo}(n) - V_{set}] + \\ &+ K_i \cdot \sum e(n) + K_d \cdot [e(n) - e(n-1)] \quad n \geq 1. \end{aligned} \quad (11)$$

2.3 Cảm biến Lidar sự dụng thuật toán SLAM

Trong thuật toán SLAM [5], công thức **cập nhật trạng thái** của robot giúp mô tả quá trình robot di chuyển từ vị trí này sang vị trí khác dựa trên mô hình chuyển động và các thông tin từ hệ thống điều khiển. Thông thường, trạng thái của robot được biểu diễn bằng tọa độ (x,y) và góc θ (góc quay của robot). Việc cập nhật trạng thái được dựa trên các thông số như vận tốc tiến... và vận tốc góc ω .

Khoảng cách đến vật cản: Nếu r_i là khoảng cách từ LIDAR đến một vật cản tại góc θ_i , thì tọa độ của vật cản trong không gian 2D là:

$$x_i = r_i \cdot \cos(\theta_i), y_i = r_i \cdot \sin(\theta_i). \quad (12)$$

Occupancy Grid [6] được hiểu là mỗi ô của lưới được cập nhật dựa trên dữ liệu từ cảm biến. xác suất của ô (i,j) chứa vật cản được cập nhật theo công thức Bayes:

$$P(O_{ij} | Z_t) = \frac{P(Z_t | O_{ij}) \cdot P(O_{ij})}{P(Z_t)}. \quad (13)$$

Trong đó:

$P(O_{i,j} | Z_t)$ là xác suất ô (i,j) có vật cản sau khi quan sát Z_t .

$P(Z_t | O_{i,j})$ là xác suất quan sát được Z_t nếu ô (i,j) có chứa vật cản.

$P(O_{i,j})$ là xác suất trước đó ô (i,j) có vật cản.

Với các thành phần của công thức này, SLAM giúp robot vừa định vị chính xác, vừa lập bản đồ

và tránh vật cản hiệu quả trong môi trường phức tạp.

Giả sử robot của bạn đang di chuyển trong một căn phòng với LIDAR gắn trên nó. Khi robot bắt đầu di chuyển:

LIDAR phát hiện một vật thể cách nó 2m tại góc $0 - 30^\circ$

Tọa độ của vật cản này trong không gian sẽ được tính bằng:

$$x = 2 \cdot \cos(30^\circ) = 1.732m \quad (14)$$

$$y = 2 \cdot \sin(30^\circ) = 1m \quad (15)$$

Vật thể này nằm tại tọa độ (1.732,1) trong không gian.

Lưới chiếm dụng sẽ được cập nhật dựa theo công thức Bayes, tăng xác suất ô lưới chứa vị trí (1.372,1) có vật cản. Theo thời gian và với các lần đo lường khác, bản đồ sẽ dần dần chính xác hơn về vị trí của vật cản.

Tọa độ x:

$$x_t = x_{t-1} + v \cdot \Delta t \cdot \cos(\theta_{t-1}). \quad (16)$$

Trong đó:

x_t là vị trí mới của robot theo trục x.

x_{t-1} là vị trí trước đó của robot theo trục x.

v là vận tốc tiến của robot.

Δt là khoảng thời gian giữa hai bước cập nhật.

θ_{t-1} là góc quay (hướng di chuyển) của robot trước đó.

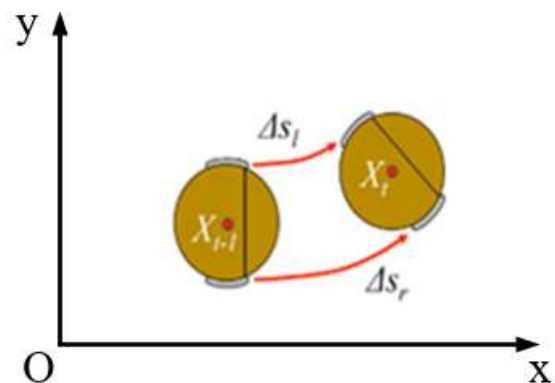
2.4. Định vị robot bằng thuật toán Odometry

Gọi x, y là tọa độ của robot, θ là góc giữa hướng của robot với trục Ox. Trạng thái của robot được biểu diễn bởi véc tơ [7,8]:

$$X = [xy\theta]^T. \quad (17)$$

Tại thời điểm k và thời điểm k-1 ta có trạng thái của robot là :

$$X_k = [x_k \ y_k \ \theta_k]^T \quad X_{k-1} = [x_{k-1} \ y_{k-1} \ \theta_{k-1}]^T. \quad (18)$$



Hình 5: Xác định vị trí của Robot
Với khoảng thời gian lấy mẫu Δt đủ ngắn ta có quãng đường dịch chuyển của 2 bánh xe:

$$\Delta S_R = \Delta t \cdot R \cdot \omega_R. \quad (19)$$

$$\Delta S_L = \Delta t \cdot R \cdot \omega_L. \quad (30)$$

ΔS_R và ΔS_L được xác định bởi encoder.

Từ đây có quãng đường dịch chuyển và độ lệch góc của tâm robot:

$$\Delta S = \frac{\Delta S_R + \Delta S_L}{2}. \quad (31)$$

$$\Delta \theta = \frac{\Delta S_R - \Delta S_L}{L}. \quad (32)$$

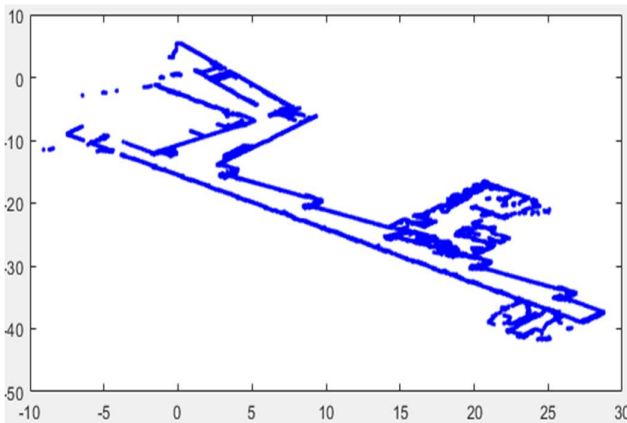
Khi đó X được tính theo công thức sau:

$$X_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \theta_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \\ \theta_{k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta s \cdot \cos(\theta_{k-1} + \Delta \theta / 2) \\ \Delta s \cdot \sin(\theta_{k-1} + \Delta \theta / 2) \\ \Delta \theta \end{bmatrix}. \quad (33)$$

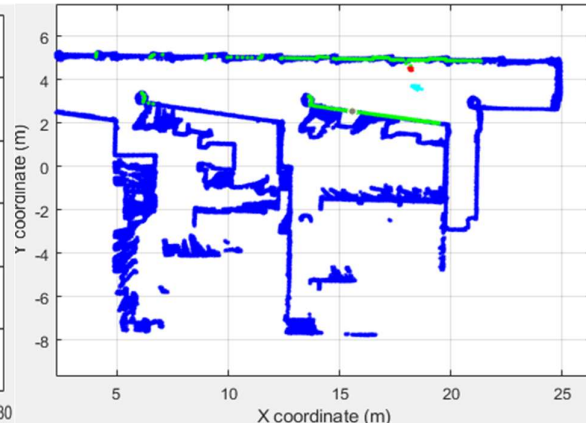
3. Kết quả

Dự án này đã sử dụng kết hợp cảm biến LiDAR và thuật toán điều khiển PID để cải thiện khả năng điều hướng và thu gom rác tự động của robot. Cảm biến LiDAR giúp robot phát hiện và tránh các chướng ngại vật trong môi trường, đồng thời xác định vị trí của các vật thể cần thu gom.

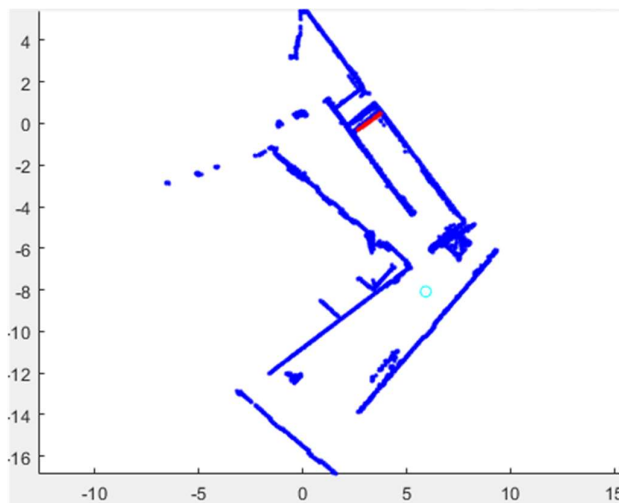
a) Hình ảnh mô phỏng cập nhật bản đồ trên map



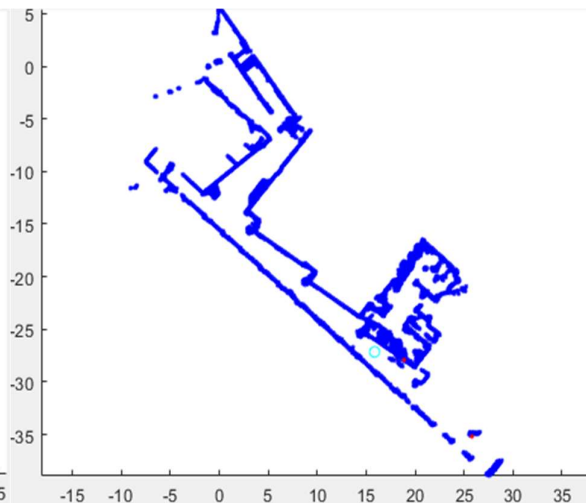
b) Hình ảnh mô phỏng chướng ngại vật robot



c) Hình ảnh mô phỏng bản đồ 2D



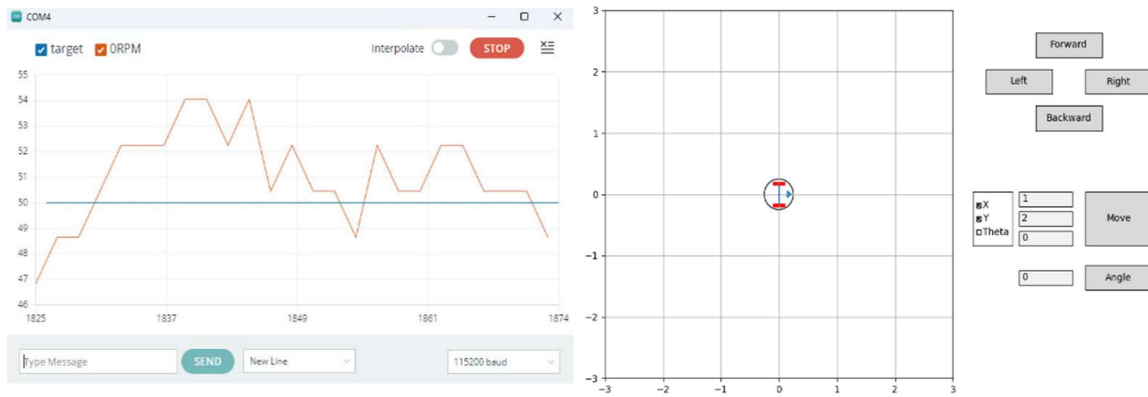
d) Hình ảnh mô phỏng bản đồ 2D sau khi đã di chuyển



Hình 6: Kết quả lập bản đồ di chuyển của robot thu được.

Thuật toán PID được áp dụng để điều chỉnh chính xác tốc độ và hướng di chuyển của robot, đảm bảo tính ổn định trong quá trình vận hành và khả năng phản hồi nhanh chóng với các thay đổi từ môi trường xung quanh.

Kết quả thực nghiệm cho thấy, hệ thống đã tối ưu được thời gian xử lý và cải thiện độ chính xác trong việc phát hiện và tránh vật cản. Sự kết hợp giữa LiDAR và PID giúp giảm thiểu sai lệch trong quỹ đạo di chuyển, đồng thời tối ưu hiệu suất thu gom rác trong các điều kiện môi trường phức tạp. Với những kết quả đạt được, hệ thống có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống robot tự động ngoài trời và các môi trường có nhiều chướng ngại vật. Trong tương lai, việc tối ưu thêm thuật toán PID và nâng cao khả năng xử lý dữ liệu từ LiDAR sẽ tiếp tục giúp cải thiện hiệu suất hoạt động của robot trong những môi trường phức tạp hơn.



Hình 7: Khả năng đạt vị trí mong muốn của robot

4. Kết luận

Đề tài "Robot vệ sinh tự động sử dụng công nghệ LiDAR" cho thấy rằng việc ứng dụng công nghệ hiện đại như LiDAR và thuật toán điều khiển PID vào lĩnh vực tự động hóa vệ sinh mang lại nhiều lợi ích vượt trội. Những robot này không chỉ giúp tối ưu hóa quy trình làm sạch một cách hiệu quả và chính xác, mà còn tiết kiệm năng lượng và tăng cường khả năng thích ứng với các điều kiện môi trường đa dạng. Nhờ đó, chúng trở thành một giải pháp cần thiết trong bối cảnh nhu cầu giữ gìn vệ sinh môi trường ngày càng tăng, đặc biệt tại các khu vực đô thị và các cơ sở công cộng như trường học. Những thử nghiệm thực tế cho thấy, với sự kết hợp giữa các công nghệ tiên tiến, robot vệ sinh tự động không chỉ giúp giảm thiểu sức lao động thủ công mà còn góp phần bảo vệ môi trường một cách bền vững và hiệu quả, mở ra tiềm năng lớn cho việc triển khai rộng rãi trong tương lai. Với nghiên cứu này, chúng tôi đã tiến hành mô phỏng được quá trình lập bản đồ của Lidar và tiến hành chạy thực tế để kiểm tra khả năng đáp ứng của thuật toán điều khiển động cơ.

5. Hướng phát triển

"Robot vệ sinh tự động sử dụng công nghệ LiDAR" là một dự án tiềm năng của tương lai, là sự kết hợp của công nghệ tự hành để áp dụng bảo vệ môi trường. Đề tài tiếp tục phát triển thành mô hình thực tế sử dụng đa cảm biến như: LiDAR, GPS, camera, cảm biến hồng ngoại..... Với việc tích hợp các cảm biến và công nghệ sẽ giúp Robot hoạt động chính xác, an toàn. Phát triển các thuật toán điều khiển tiên tiến hơn giúp robot có khả năng xử lý linh hoạt hơn trong các môi trường phức tạp và đa dạng. Điều này giúp tối ưu

hóa tốc độ, hướng di chuyển và hiệu quả làm sạch của robot. Tích hợp các công nghệ Internet vạn vật (IoT) giúp giám sát và điều khiển robot từ xa, đồng thời thu thập dữ liệu để phân tích và cải thiện hiệu suất vận hành.

Tài liệu tham khảo

1. Y. Li and J. Ibanez-Guzman, "Lidar for Autonomous Driving: The Principles, Challenges, and Trends for Automotive Lidar and Perception Systems," in IEEE Signal Processing Magazine, vol. 37, no. 4, pp. 50-61, July 2020.
2. Geiger, A., Lenz, P., Stiller, C., Urtasun, R.: Vision meets robotics: The kitti dataset. The International Journal of Robotics Research 32(11)(2013) 1231–1237.
3. G. Fragapane, R. De Koster, F. Sgarbossa, J.O. Strandhagen, Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: Literature review and research agenda, Eur. J. Oper. Res. 294 (2) (2021) 405-426.
4. V. Parra-Vega, S. Arimoto, Y. H. Liu, G. Hirzinger, and P. Akella, "Dynamic sliding PID control for tracking of robot manipulators: Theory and experiments," IEEE Trans. Robot. Autom., vol. 19, no. 6, pp. 967–976, Dec. 2003.
5. S. Park and G. Lee, "Mapping and localization of cooperative robots by ROS and SLAM in unknown working area," 56th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), 2017, pp. 858-861.
6. A. Elfes, "Occupancy grids: A probabilistic framework for robot perception and navigation," Ph.D. dissertation, CMU, 1989.
7. Morioka, K.; Mao, X.; Hashimoto, H. Global color model based object matching in the multi-camera environment. Proceedings of IEEE /RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing, China; 2006; pp. 2644–2649.
8. Chung, J.; Kim, N.; Kim, J.; Park, C.M. POSTRACK: a low cost real-time motion tracking system for VR application. Proceedings of Seventh International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Berkeley, CA, USA; 2001; pp. 383–392.

Thiết kế và trình diễn hệ thống điều khiển chuỗi thông minh cho phương tiện giao thông nhanh cá nhân

Phạm Quốc Thái¹, Lưu Đức Lịch¹, Hoàng Thắng¹, Huỳnh Đức Trí¹, Phan Văn Bình², Nguyễn Đức Hoàng^{2,*}

¹ Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Việt Nam

² Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

*Email:nguyenduchoang14@dtu.edu.vn

Tóm tắt. Có sự tập trung ngày càng tăng vào thiết kế và phát triển hệ thống giao thông thông minh trong các ứng dụng để cải thiện an toàn, giảm tắc nghẽn, tăng lưu lượng hiệu quả giao thông và tăng cường sự thoải mái cho người lái xe và hành khách. Một trong những hướng nghiên cứu gần đây là Giao thông nhanh cá nhân (PRT) giống như phương tiện nhỏ, được thiết kế để chở bốn hoặc ít người trên đường dẫn trên cao hoặc trên mặt đất. Do đó, các nhà phát triển đang triển khai một hệ thống PRT tiên tiến và sáng tạo, trang bị nhiều chức năng và điều khiển tự động thông minh. Về mặt sâu sắc, Hệ thống quản lý hợp nhất giao thông là một phần thiết yếu của hệ thống, nó góp phần quản lý PRT để tránh va chạm trên đường. Trong nghiên cứu này, chúng tôi chỉ nghiên cứu về điều khiển hợp nhất tự động của PRT dựa trên việc chia sẻ thông tin của PRT và công nghệ Nhận dạng tần số vô tuyến (RFID). Kỹ thuật này được áp dụng để xác định chính xác vị trí xe. Hơn nữa, sự kết hợp của giao tiếp PRT với PRT sẽ giúp tất cả dữ liệu của thông tin chia sẻ của xe với nhau, do đó mỗi xe đều biết thông tin của xe kia. Để đánh giá chất lượng của hệ thống điều khiển hợp nhất tự động thực tế sử dụng ô tô nhỏ, một mô phỏng điều khiển đã được triển khai trên LabVIEW. Thuật toán điều khiển tự động nhập làn được sử dụng để mô phỏng trong hệ thống. Mặt khác, việc thử nghiệm xe thật có thể giúp chúng ta phân tích thuật toán nhập làn. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc trình diễn xe chạy quanh các tuyến đường và cách xe có thể an toàn vượt qua điểm nhập làn tại toàn bộ khu vực nhập làn.

Từ khóa: Phương tiện công cộng nhanh cá nhân, Kiểm soát hợp nhất, Quản lý sáp nhập

1. Giới thiệu

Trong những thập kỷ gần đây, ngày càng rõ ràng rằng việc di chuyển mọi người trong khu vực đô thị là một vấn đề phức tạp hơn so với những gì trước đây từng hình dung. Vấn đề này không chỉ liên quan đến đường sá và phương tiện mà còn liên quan nhiều hơn đến những gì phù hợp với những người sử dụng công cụ giao thông đơn giản nhất.

Việc nhận ra thực tế này đã giúp các nhà khoa học tập trung vào việc phát triển các hệ thống giao thông thông minh (ITS) [1]. Các nhà khoa học đã xem xét việc phát triển nhiều ITS, một trong số đó là hệ thống vận tải nhanh cá nhân (PRT) [2–4]. Vận tải nhanh cá nhân là một phương thức vận tải mới. Các hệ thống PRT đã được khuyến nghị trong bốn mươi năm. Các nguyên mẫu đầu tiên được cải tiến vào những năm 1960: Dự án Aramis (Pháp năm 1967), Cabintaxi (Đức năm 1969) và Hệ thống xe điều khiển bằng máy tính (Nhật Bản năm 1970). Bộ Nhà ở và Phát triển Đô thị Hoa Kỳ đã ban hành một báo cáo vào năm 1968 giới thiệu về sự phát triển của PRT về một hệ thống giao thông đô thị mới chuyên chở người và hàng hóa một cách an toàn, không gây ô nhiễm không khí, giảm tiếng ồn trong thành phố [5].

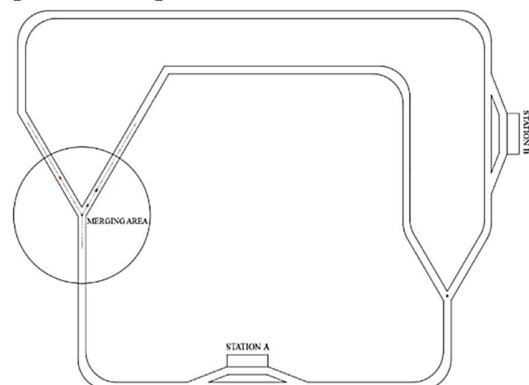
Có rất nhiều chức năng để điều khiển trong PRT, nhưng nghiên cứu của chúng tôi chỉ tập trung vào việc tự động kết hợp điều khiển PRT

với giao tiếp liên PRT có thể áp dụng trên đường sẽ góp phần rất lớn vào việc tăng cường an toàn và giảm ùn tắc giao thông. Hơn nữa, việc phát triển công nghệ Nhận dạng tần số vô tuyến sẽ giúp quản lý vị trí chính xác hơn.

2. Hệ thống thiết kế và bổ sung

2.1 Thiết kế mô hình sử dụng RFID

Bài báo này đề xuất sử dụng RFID để định vị vị trí của PRT trên đường. Chúng tôi cũng tập trung vào điểm hợp nhất - vị trí mà hai con đường gặp nhau để tạo thành một con đường, được mô tả trong Hình 1. Theo quan điểm của PRT, hợp nhất là hợp nhất có hai luồng đầu vào PRT được đan xen với nhau nhưng đầu ra của nó chỉ là một luồng. Nhiệm vụ của bộ điều khiển hợp nhất là phối hợp PRT để duy trì sự an toàn khi hai luồng đi qua điểm hợp nhất.



Hình 1. Các tuyến đường thử nghiệm để trình diễn.

RFID được lắp đặt đều trên đường sao cho khoảng cách giữa hai RFID liên tiếp là không đổi. Trong mô hình này, chúng tôi sử dụng xe nhỏ có vận tốc thấp để thiết lập khoảng cách giữa hai RFID khác nhau là 20 cm. Để tạo bản đồ xung quanh điểm họp nhất, chúng tôi lập trình để chọn tổng địa chỉ của RFID đặt trên đường.

Mifare RC522 được NXP thiết kế là loại tiêu thụ điện năng thấp, là đầu đọc thẻ RFID tích hợp cao hoạt động trên chip đọc và ghi không tiếp xúc 13,56 MHz, giá thành thấp và kích thước nhỏ gọn.

2.2 Thuật toán của xe điều khiển tự động

Xe điều khiển trên đường liên tục tìm kiếm khoảng trống trên làn đường chính để di chuyển vào và phải phân biệt xem nên tăng tốc hay giảm tốc khi nhập vào làn đường chính. Nếu khoảng trống đủ, xe sẽ bắt đầu nhập làn. Đồng thời, các xe trên làn đường chính phải thay đổi tốc độ để được phép vào điểm nhập làn. Ở làn ngoài, việc nhập làn có thể thay đổi đặc tính vận hành của xe và sẽ ảnh hưởng đến luồng giao thông trên đường. Nếu không có khoảng trống trong quá trình di chuyển của phương tiện, xe nhập làn phải giảm tốc độ và thậm chí dừng lại. Ngược lại, nếu xe nhập làn coi khoảng trống quan trọng hơn sự an toàn thực sự của khu vực nhập làn, sẽ xảy ra va chạm trên làn nhập làn.

Việc nhập xe có thể được giải quyết theo cách mà chúng ta có một xe ảo trên làn đường được nhập bởi hai xe trên làn đường chính [6, 7]. Chúng tôi đề xuất một phương pháp điều khiển nhập xe tự động dựa trên hệ thống đường cao tốc tự động, phương pháp này sẽ tính toán tham chiếu tốc độ quỹ đạo cho xe nhập xe.

Từ công thức 2.1, chúng ta có thể tìm thấy Công thức 2.2. Tích hợp Công thức 2.2, chúng ta có công thức 2.3 [7, 8]. Cuối cùng, chúng ta thu được Công thức 2.6 cho thấy rằng chúng ta có thông tin về tốc độ ban đầu an toàn, vị trí xe tức thời, khoảng cách an toàn và gia tốc nên dễ dàng tính toán được vận tốc cuối cùng của xe cần đạt được.

$$a = \frac{V_{safe}^f - V_{safe}^i}{t_f - t_i} \tag{2.1}$$

$$V_{safe}^f = V_{safe}^i + a \cdot \Delta t \tag{2.2}$$

$$d_{safe} = \int V_{safe}^f \cdot \Delta t = v_{safe}^i \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot \Delta t^2 \tag{2.3}$$

$$D_{safe} - d_{safe-p} = \frac{v_{safe}^{f2} - v_{safe}^{i2}}{2a} \tag{2.4}$$

$$a = \frac{V_{safe}^f - V_{safe}^i}{t_f - t_i} \tag{2.5}$$

$$v_{safe}^f = \sqrt{2a(D_{safe} - d_{safe-p}) + v_{safe}^{i2}} \tag{2.6}$$

Bảng 3. Bảng thông số.

Kí hiệu	Thông số	Đơn vị
d_{safe}	Khoảng cách an toàn	m
V_{safe}^i	Tốc độ ban đầu của xe B	m/s
V_{safe}^f	Tốc độ cuối cùng của xe B	m/s
a	Giảm tốc hoặc tăng tốc	m/s ²
t_i	Thời gian ban đầu xe B tăng tốc hoặc giảm tốc	s
t_f	Thời gian cuối cùng để đạt đến tốc độ cuối cùng	s
D_{safe}	Khoảng cách di chuyển của xe B	m
d_{safe-p}	Khoảng cách khu vực được xác định trước	m

Khi các xe tiếp cận phạm vi họp nhất. Chúng sẽ được kết nối với mạng lưới vòng và) chia sẻ thông tin với nhau. Bộ điều khiển sẽ xử lý thông tin dựa trên thuật toán điều khiển họp nhất tự động. Mỗi xe có dữ liệu về vị trí (px) và tốc độ của các xe khác. Có khả năng, sau khi tìm thấy giá trị nhỏ nhất lớn hơn px, chúng ta sẽ có giá trị py và tên xe giúp xe X có thể tuân theo đề điều khiển hành trình thích ứng. Các bước thuật toán được liệt kê bên dưới (Bảng 1):

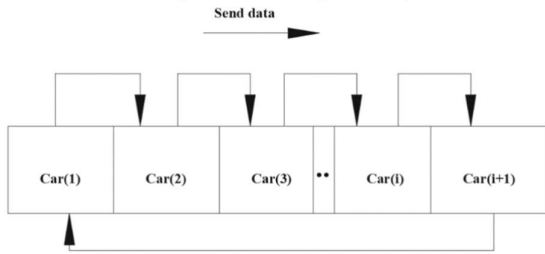
Bảng 2. Thuật toán Hợp nhất điều khiển tự động.

Bước 1	Khi xe đầu tiên di chuyển vào vùng họp nhất và nhận dạng RFID để biết vị trí của xe này, nó sẽ tuyên bố di chuyển phạm vi họp nhất của đường (ví dụ: xe trên đường 1). Sau đó, nó sẽ gửi lệnh phát sóng trong vùng họp nhất
Bước 2	Chiếc xe khác đang di chuyển đến khu vực nhập làn trên đường
Bước 3	Tự động kết nối mạng vòng và chia sẻ thông tin
Bước 4	Dựa trên ba biến số (tốc độ của xe, khoảng cách từ xe nhập cuộc, vị trí của xe khác) xe nào là xe chiến thắng khi tiến vào điểm nhập cuộc và không thay đổi tốc độ của xe hoặc đi theo xe gần nhất phía trước dựa trên dữ liệu vị trí.
Bước 5	Nếu một xe mới đi vào khu vực nhập làn, nó sẽ được kết nối trong mạng. Bước 2 được lặp lại trong một vòng lặp liên tục

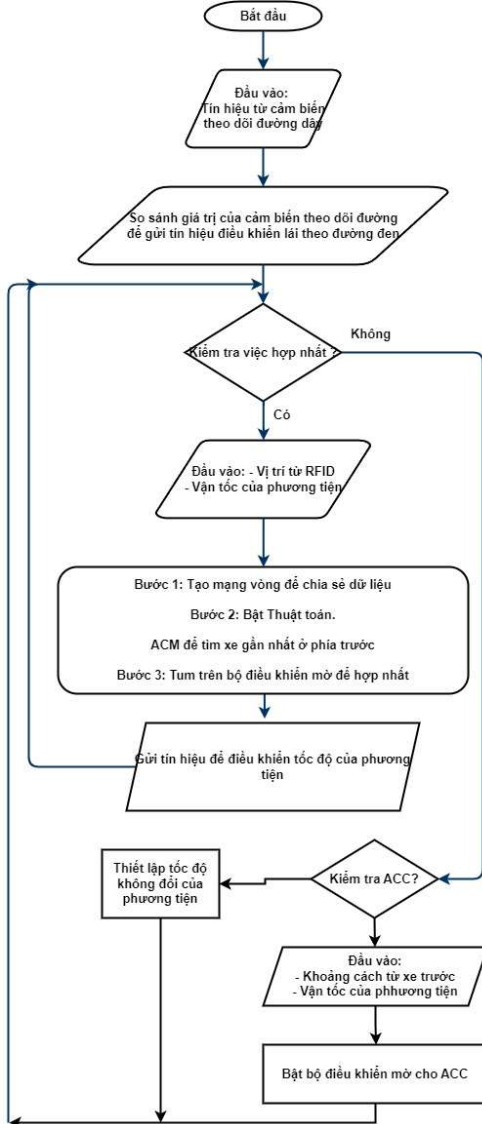
2.3 Thiết kế mạng bằng cách sử dụng Xbee trên PRT

Sử dụng X-CTU để cấu hình mạng cho Xbee. X-CTU là phần mềm cấu hình của Digi International cho các mô-đun Xbee. Nó chạy trên bất kỳ máy nào sử dụng Windows. Có các lựa chọn thay thế cho Mac OSX và cho các máy chạy Linux. Mạng vòng được tạo ra phụ thuộc vào số lượng xe trên

vùng hợp nhất nên chúng ta có chức năng tự động tham gia vào mạng vòng. Kết nối luật cho nhiều xe được trình bày bên dưới (Hình 2):



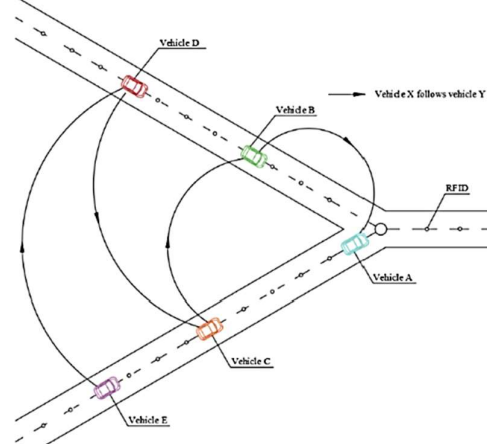
Hình. 2. Nguyên lý chia sẻ ứng dụng tín hiệu trên xe i+1.



Hình. 3. Thuật toán điều khiển xe tự động trong hệ thống.

Khi các xe di chuyển vào khu vực hợp nhất, chúng sẽ tạo ra một mạng lưới vòng để chia sẻ dữ liệu với nhau. Mỗi xe gửi và trao đổi dữ liệu với những xe khác. Dữ liệu mà một xe nhận được từ chính xe này và những xe khác. Dữ liệu mà một xe nhận được từ một xe khác trong mạng lưới vòng bao gồm vị trí và vận tốc của những xe

khác. Dựa trên dữ liệu này, xe tính toán và kiểm soát vận tốc của chính nó (Hình 3 và Hình 4).



Hình. 4. Dữ liệu di chuyển trong quá trình hợp nhất là dữ liệu của các phương tiện.

3. Mô phỏng và kết quả thí nghiệm

3.1 Hệ thống điều khiển thông minh mô phỏng tòa nhà của ngã tư

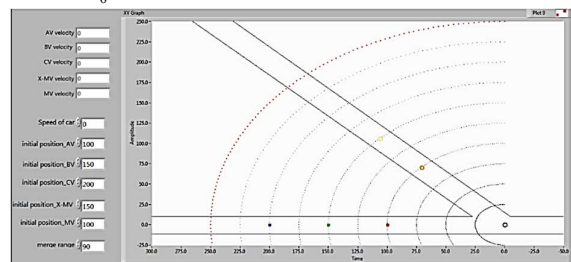
LabVIEW được sử dụng để mô phỏng điều khiển hợp nhất với cùng phương pháp như đã trình bày ở trên. Nghiên cứu này sử dụng nền tảng lập trình đồ họa để thiết lập hệ thống điều khiển. Điều khiển logic mờ được tạo trên hệ thống để điều khiển vận tốc của xe trong phạm vi hợp nhất. Hình 5 cho thấy cách sử dụng mô hình với ba xe chạy vào khu vực hợp nhất. Giao tiếp xe để chia sẻ thông tin được tính theo công thức (3.2), (3.2), (3.3) của mỗi xe từ giao điểm của thông tin.

Hình 6 và Hình 7 biểu thị kết quả mô phỏng với ba xe bao gồm vị trí so với thời gian và vận tốc của mỗi xe so với thời gian. Đối với Hình 6, chúng ta có thể thấy rằng thời gian tại 0 m (điểm nhập làn) của ba xe là khác nhau nên chúng không thể xảy ra tai nạn tại điểm nhập làn.

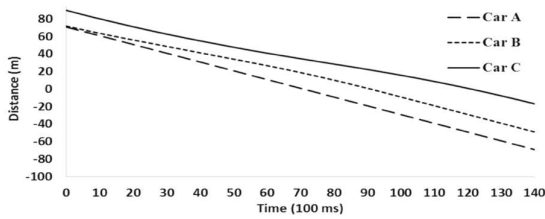
$$\Delta S_e = S - P_{rear} - P_{front} \quad (3.2)$$

$$\Delta V = V_{rear} - V_{front} \quad (3.2)$$

$$\Delta D = L - \int_0^t V_b dt \quad (3.2)$$

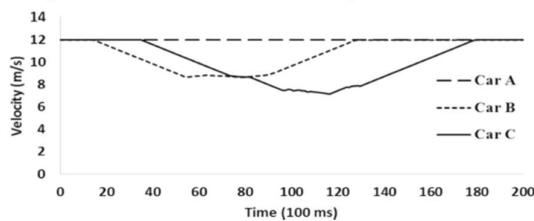


Hình. 5. Mô hình mô phỏng giao diện trong vùng hợp nhất.



Hình. 6. Khoảng cách di chuyển của mỗi người đến điểm hợp nhất so với thời gian.

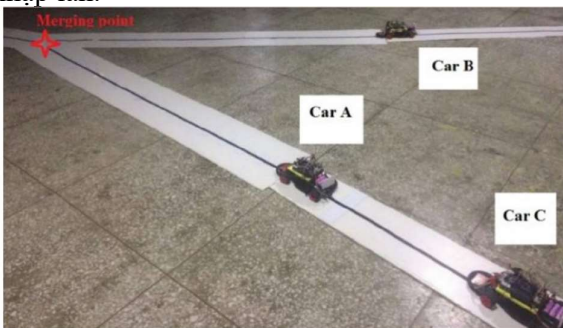
Đối với Hình 7, các đường biểu đồ chỉ ra tốc độ của xe A không thay đổi khi di chuyển vào điểm nhập làn nhưng tốc độ của xe B và C lại giảm nhanh. Lý do khiến tốc độ của xe B và C thay đổi là vì lý do an toàn. Sau khi vượt qua điểm nhập làn, tốc độ của mỗi xe sẽ tăng lên với tốc độ không đổi có thể được thiết lập ban đầu.



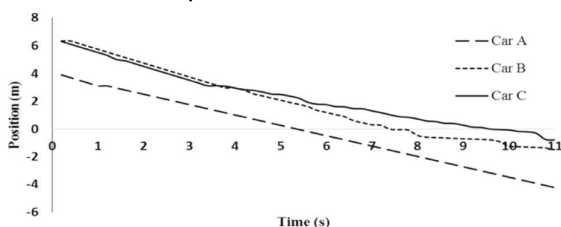
Hình. 7. Tốc độ của mỗi xe trên đường di chuyển.

3.2 Thí nghiệm Hệ thống điều khiển thông minh hợp nhất

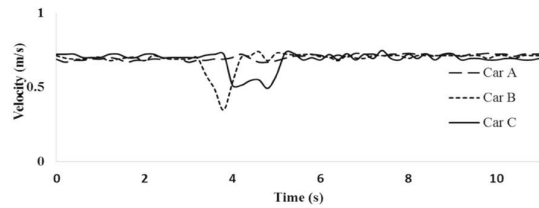
Hình 8 và Hình 9 trình bày vị trí của từng xe trên khu vực nhập làn tại thời điểm đó. Ta có thể thấy điểm xuất phát của xe B và xe C giống nhau nhưng vị trí của chúng trên hai làn đường lại khác nhau. Xe B nằm trên làn đường chính và các xe khác nằm trên làn đường ngoài. Số tương ứng với điểm nhập làn là số không (0). Kiểm soát ACC sẽ được kích hoạt ngay sau khi xe thoát khỏi điểm nhập làn.



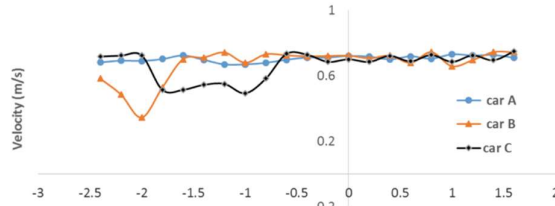
Hình. 8. Kịch bản của mô hình trình diễn.



Hình. 9. Vị trí của từng xe theo thời gian.



Hình. 10. Biểu đồ vận tốc so với thời gian.



Hình. 11. Tốc độ của mỗi xe ở mỗi vị trí.

Mô tả tốc độ của mỗi xe với điểm RFID cố định trên đường. Tốc độ của mỗi xe khi chạy trên đường luôn ở mức khoảng 12 km/h. Khi các xe tiến đến khu vực nhập làn, tốc độ sẽ giảm, tùy thuộc vào khoảng cách từ xe đến điểm nhập làn và xe ảo tham chiếu thông qua AQ3 giao tiếp giữa các xe (Hình 10).

Hình 11 cho thấy một số vận tốc khác nhau của mỗi xe theo vị trí. Rõ ràng, vận tốc của xe A dường như không thay đổi vì đây là xe đầu tiên di chuyển vào khu vực nhập làn. Vận tốc của xe B giảm đáng kể tại khu vực nhập làn vì nó phải đi theo xe A. Cuối cùng, vận tốc của xe C giảm mạnh và duy trì ở đây lâu hơn vận tốc của xe B vì nó đi theo xe B. Khi tất cả các xe di chuyển ra khỏi điểm nhập làn, vận tốc của tất cả đều dao động nhẹ.

4. Thảo luận

Nghiên cứu này đã trình bày về thuật toán vận hành cho đoàn tàu PRT. Chúng tôi tập trung vào cách lựa chọn và ưu tiên các phương tiện khi di chuyển vào khu vực nhập làn. Phương pháp thuật toán điều khiển nhập làn dựa trên khái niệm phương tiện ảo đã được giới thiệu. Phương pháp này có thể cung cấp quỹ đạo tốc độ mượt mà của phương tiện nhập làn, tránh hiện tượng nhảy tốc độ và chênh lệch khoảng cách khi chỉ xem xét nhu cầu về tốc độ, gia tốc và khoảng cách. Các thí nghiệm đơn giản được thực hiện và kết quả cho thấy phương pháp này có thể giải quyết các vấn đề và hỗ trợ an toàn cho phương tiện trong khu vực nhập làn. Nó có thể được sử dụng cho hệ thống lái xe tự động trong các điều kiện đặc biệt như đường giao nhau (Y), điều kiện thời tiết khắc nghiệt, v.v.

Trong nghiên cứu trong tương lai, phương pháp điều khiển sẽ được sửa đổi theo thử nghiệm thực tế. Mô phỏng mô hình sẽ xem xét động lực học

của phương tiện cũng như độ trễ của tín hiệu truyền của V2V ảnh hưởng đến việc điều khiển hệ thống theo thời gian thực. Hệ thống quyết định sẽ được thiết kế để tìm không gian trống tối ưu để nhập làn. Một loạt các quy tắc mờ được tạo ra tự động để kiểm soát phương tiện và chức năng chi phí xem xét mức tiêu thụ năng lượng, sự thoải mái khi lái xe và lưu lượng giao thông tổng thể được đưa vào.

Tài liệu tham khảo

1. Shaheen, S.A., Finson, R.: Intelligent transportation systems. In: Cleveland, C.J. (ed.) *Encyclopedia of Energy*, pp. 487–496. Elsevier, New York (2004).
2. Chen, C., Wu, X., Chen, A., Liu, H., Xiang, S.: Research on PRT station design using unmanned vehicles based on Petri net. In: 2019 3rd International Conference on Electronic Information Technology and Computer Engineering (EITCE), pp. 210–213, October 2019. <https://doi.org/10.1109/EITCE47263.2019.9094984>
3. Chebbi, O., Chaouachi, J.: An elitist multi-objective genetic algorithm for minimizing vehicle numbers and energy consumption in the context of personal rapid transit. In: 2014 International Conference on Advanced Logistics and Transport, ICALT 2014, pp. 270–274 (2014). <https://doi.org/10.1109/ICAdLT.2014.6866323>
4. Kim, S., Kwon, Y., Heo, N., Kim, M., Ryou, M., Lee, D.: Development of the test apparatus of propulsion system in the PRT (Personal Rapid Transit). In: 2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp. 1–6, September 2011. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2011.6043020>
5. Berkeley, U.C., Michael, S.: An analysis of personal rapid transit (2010)
6. Wang, Y., Wenjuan, E., Tang, W., Tian, D., Lu, G., Yu, G.: Automated on-ramp merging control algorithm based on internet-connected vehicles. *IET Intell. Transp. Syst.* 7(4), 371–379 (2013). <https://doi.org/10.1049/iet-its.2011.0228>
7. Lu, X.Y., Hedrick, J.K.: Longitudinal control algorithm for automated vehicle merging. *Int. J. Control.* 76(2), 193–202 (2003). <https://doi.org/10.1080/0020717031000079418>
8. Lee, J.: An apparatus design for the vehicle control scheme in personal rapid transit system, vol. 3, pp. 325–333 (2013)

Khảo sát dung lượng bảo mật mạng điện toán biên di động NOMA sử dụng kỹ thuật gây nhiễu chủ động

Trương Văn Trương^{1,*}, Nguyễn Thành Nam²

¹Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

²Trung tâm Điện – Điện tử, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

*Email:truongvantruong@dtu.edu.vn

Tóm tắt Bài báo này khảo sát bảo mật lớp vật lý cho mạng điện toán biên di động (MEC) kết hợp cùng với phương thức đa truy cập phi trực giao (NOMA) sử dụng kỹ thuật gây nhiễu chủ động. Cụ thể, chúng tôi đề xuất mô hình một người dùng biên (U) giảm tải đến hai máy chủ MEC đặt tại các điểm truy cập không dây (AP) lân cận khi tồn tại thiết bị nghe lén (E). Các AP hoạt động ở chế độ song công, chủ động gửi tín hiệu gây nhiễu để làm giảm hiệu năng của E. Theo đó, chúng tôi phân tích biểu thức dung lượng bảo mật trung bình của kênh truyền từ U đến AP để đánh giá hiệu năng hệ thống. Các kết quả mô phỏng số chứng minh hiệu quả của kỹ thuật gây nhiễu chủ động trong việc cải thiện hiệu năng cho hệ thống đề xuất.

Từ khóa: Đa truy cập phi trực giao, bảo mật lớp vật lý, mạng điện toán biên di động, gây nhiễu chủ động, dung lượng bảo mật trung bình.

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, công nghệ truyền thông không dây đã phát triển mạnh mẽ với việc triển khai 5G, Wi-Fi 6, và các công nghệ không dây tầm gần khác, mở ra một thế giới kết nối không giới hạn, nơi mà thông tin và dữ liệu có thể được truy cập và chia sẻ một cách cực kỳ nhanh chóng và hiệu quả [1]. Từ việc trò chuyện video qua ứng dụng gọi điện thoại Internet cho đến việc truy cập các dịch vụ trực tuyến, công nghệ không dây đã thúc đẩy sự phát triển của nền kinh tế số và tạo ra cơ hội cho sự sáng tạo và tiện ích trong cuộc sống hàng ngày của mọi người. Đồng thời, những ứng dụng như xe tự hành, thực tế ảo, và IoT được phát triển, hứa hẹn mang lại một cuộc sống kết nối và thông minh hơn trong tương lai [2].

Để triển khai được những ứng dụng đó, các yêu cầu về băng thông cao và độ trễ thấp là điều kiện tiên quyết. Điều này đã thúc đẩy sự ra đời của các công nghệ mới như đa truy cập phi trực giao (NOMA) và mô hình mạng điện toán biên di động (MEC) [3]. NOMA cho phép nhiều thiết bị kết nối cùng một lúc trên cùng một tần số, tăng cường hiệu suất mạng và khả năng chia sẻ tài nguyên [4]. Trong khi đó, MEC đem tính toán và lưu trữ đến gần nguồn dữ liệu, giúp giảm độ trễ và tăng tốc độ truy cập dữ liệu, đặc biệt quan trọng trong các ứng dụng đòi hỏi thời gian thực [5]. Sự kết hợp của NOMA và MEC không chỉ cải thiện hiệu suất mạng mà còn mở ra cánh cửa cho việc phát triển các ứng dụng mới và nâng cao trải nghiệm người dùng trong thời đại công nghệ số ngày nay.

Do đặc tính quảng bá của kênh truyền không dây, yêu cầu truyền dữ liệu an toàn trong mạng

NOMA MEC được đặt lên hàng đầu [6]. Sự xuất hiện của những kẻ nghe trộm, tin tặc đang làm gián đoạn quá trình truyền tải thông tin an toàn. Có thể thấy rằng các phương pháp bảo mật truyền thống như sử dụng mã hóa đầu cuối khó triển khai trong mạng NOMA MEC, nơi mà yêu cầu về thời gian trễ là điều kiện tiên quyết. Để vượt qua thách thức này, các kỹ thuật bảo mật cấp vật lý (PLS) đã được triển khai [7]. Trong số đó, kỹ thuật gây nhiễu chủ động được xem xét là có thể cải thiện khả năng bảo mật của hệ thống bằng cách làm giảm khả năng hoạt động của kẻ nghe trộm [8]. Người dùng có thể áp dụng phương pháp gây nhiễu khi phát hiện sự hiện diện của kẻ nghe trộm, để làm giảm khả năng nghe trộm dữ liệu thông qua việc làm giảm hiệu suất của chúng. Điều này sẽ giúp tăng cường tính bảo mật và đảm bảo an toàn cho hệ thống truyền thông.

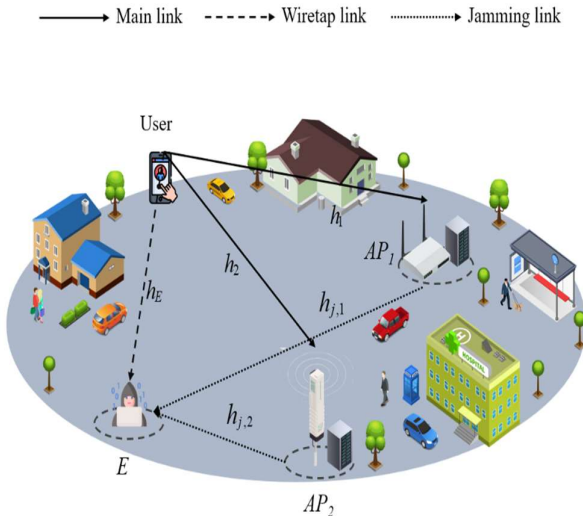
Theo đó, trong nghiên cứu này, chúng tôi khảo sát mô hình NOMA MEC bảo mật lớp vật lý với kỹ thuật gây nhiễu chủ động. Đóng góp chính của bài báo được liệt kê như sau:

- Đề xuất mô hình NOMA MEC bảo mật lớp vật lý với kỹ thuật gây nhiễu chủ động.
- Phân tích các biểu thức dung lượng bảo mật trung bình của kênh truyền từ U đến các AP để đánh giá hiệu năng hệ thống.
- Đánh giá hiệu năng hệ thống dưới các thông số chính như công suất phát, hệ số phân bổ công suất, công suất phát gây nhiễu chủ động.

Phần còn lại của bài báo như sau: Phần 2 trình bày về mô hình hệ thống và kênh truyền, phần 3 trình bày phân tích hiệu năng hệ thống, phần 4 là các kết quả và thảo luận, phần 5 trình bày Kết luận và hướng phát triển.

2. Mô hình hệ thống và kênh truyền

Trong hình 1, một thiết bị người dùng (U) bị hạn chế về tài nguyên tính toán nên cần giảm tải các tác vụ đến hai điểm truy cập (AP) không dây tại biên mạng với sự hỗ trợ tính toán của máy chủ MEC. Tồn tại một thiết bị nghe lén (E) thụ động gần đó có thể đánh cắp thông tin giảm tải từ U đến các AP . Giả sử hai điểm truy cập AP_1 và AP_2 biết sự hiện diện của E . Các thiết bị trong mạng được trang bị đơn anten, U và E hoạt động ở chế độ bán song công, trong khi đó AP_1 và AP_2 hoạt động ở chế độ song công. U sử dụng NOMA đường xuống để giảm tải các tác vụ đồng thời đến các AP . Do đã nhận biết sự hiện diện của E , các AP chủ động gửi tác tín hiệu gây nhiễu đến E để làm giảm khả năng nghe lén của E . Trong mô hình này, chúng tôi giả sử rằng AP_1 được đặt ở vị trí xa U hơn so với AP_2 , do đó, theo kỹ thuật NOMA, công suất phân bổ cho tín hiệu của AP_1 sẽ lớn hơn.



Hình 1. Mô hình hệ thống NOMA MEC bảo mật lớp vật lý bằng kỹ thuật gây nhiễu chủ động

Tín hiệu NOMA chồng chập được U truyền đi có dạng như sau:

$$x_U = \sqrt{\alpha_1 P} x_1 + \sqrt{\alpha_2 P} x_2, \quad (1)$$

trong đó α_1 và α_2 lần lượt là hệ số phân bổ công suất đến AP_1 và AP_2 , với $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ và $\alpha_1 > \alpha_2$; x_1 và x_2 là các chuỗi dữ liệu được truyền đến AP_1 và AP_2 ; $\mathbb{E}\{|x_1|^2\} = \mathbb{E}\{|x_2|^2\} = 1$, với $\mathbb{E}\{\cdot\}$ là toán tử kỳ vọng; P là công suất phát của U . Tín hiệu nhận được tại các điểm truy cập và E được đưa ra như sau:

$$y_i = h_i x_U + n_i, \quad (2)$$

$$y_E = h_E x_U + h_{j,1} \sqrt{P} x_1 + h_{j,2} \sqrt{P} x_2 + n_E, \quad (3)$$

trong đó h_i, h_E là hệ số kênh truyền từ U đến AP_i và E ; $h_{j,i}$ là hệ số kênh truyền gây nhiễu từ AP_i đến E ; x_j là tín hiệu gây nhiễu từ AP_j ; P_i là công suất phát của AP_i , $i \in \{1, 2\}$; n_i và n_E là nhiễu AWGN có trung bình bằng 0 và phương sai σ^2 . Tỷ số tín hiệu trên can nhiễu (SINR) tại AP_1 có dạng như sau:

$$\gamma_1 = \frac{\alpha_1 P |h_1|^2}{\alpha_2 P |h_1|^2 + \sigma^2} = \frac{\alpha_1 \gamma_0 g_1}{\alpha_2 \gamma_0 g_1 + 1}, \quad (4)$$

trong đó $\gamma_0 = \frac{P}{\sigma^2}$.

Trong khi đó, tỷ số tín hiệu trên can nhiễu và tỷ số tín hiệu trên nhiễu (SNR) tại AP_2 để giải mã tín hiệu x_1 và x_2 là:

$$\gamma_2^{x_1} = \frac{\alpha_1 P |h_2|^2}{\alpha_2 P |h_2|^2 + \sigma^2} = \frac{\alpha_1 \gamma_0 g_2}{\alpha_2 \gamma_0 g_2 + 1}, \quad (5)$$

$$\gamma_2^{x_2} = \alpha_2 \gamma_0 g_2, \quad (6)$$

Từ đó, SINR tại AP_2 là:

$$\gamma_2 = \min(\gamma_2^{x_1}, \gamma_2^{x_2}). \quad (7)$$

Tỷ số tín hiệu trên can nhiễu tại E để giải mã tín hiệu x_1 là:

$$\begin{aligned} \gamma_{E1} &= \frac{\alpha_1 P |h_E|^2}{\alpha_2 P |h_E|^2 + P |h_{j,1}|^2 + P |h_{j,2}|^2 + \sigma^2} \\ &= \frac{\alpha_1 \gamma_0 g_E}{\alpha_2 \gamma_0 g_E + \gamma_{AR} g_{j,1} + \gamma_{AR} g_{j,2} + 1} \end{aligned} \quad (8)$$

Sau khi giải mã được tín hiệu x_1 , SINR tại E để giải mã tín hiệu x_2 là:

$$\gamma_{E2} = \frac{\alpha_2 P |h_E|^2}{P |h_{j,1}|^2 + P |h_{j,2}|^2 + \sigma^2} = \frac{\alpha_2 \gamma_0 g_E}{\gamma_{AR} g_{j,1} + \gamma_{AR} g_{j,2} + 1}. \quad (9)$$

Tất cả độ lợi kênh truyền trong hệ thống tuân theo phân phối hàm mũ với tham số λ_a . Vì vậy, hàm phân phối tích lũy (CDF) và hàm mật độ xác suất (PDF) của g_a được mô tả như sau:

$$F_{g_a}(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\lambda_a}\right), \quad (10)$$

$$f_{g_a}(x) = \frac{1}{\lambda_a} \exp\left(-\frac{x}{\lambda_a}\right), \quad (11)$$

trong đó $\lambda_a = \mathbb{E}\{g_a\}$, $a \in \{1, 2; E; j, 1; j, 2\}$.

Để dễ dàng triển khai các tính toán tiếp theo, chúng tôi trình bày các mệnh đề 1 và 2 để mô tả CDF cho γ_1 và γ_{E1} như sau:

Mệnh đề 1: Biểu thức CDF của γ_1 được cho bởi:

$$F_{\gamma_1}(x) = \begin{cases} 1, & x > \beta \\ 1 - \exp\left[-\frac{x}{\lambda_1 \gamma_0 (\alpha_1 - \alpha_2 x)}\right], & x \leq \beta \end{cases} \quad (12)$$

trong đó $\beta = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$.

Chứng minh:

Từ công thức (4), khai triển CDF của γ_1 như sau:

$$\begin{aligned} F_{\gamma_1}(x) &= \Pr\left[\frac{\alpha\gamma_0g_1}{\alpha_2\gamma_0g_1+1} < x\right] \\ &= \Pr[\gamma_0g_1(\alpha_1 - \alpha_2x) < x] \\ &= \begin{cases} 1, & x > \beta \\ F_{g_1}\left[\frac{x}{\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)}\right], & x \leq \beta \end{cases} \\ &= \begin{cases} 1, & x > \beta \\ 1 - \exp\left[-\frac{x}{\lambda_1\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)}\right], & x \leq \beta \end{cases} \end{aligned}$$

Như vậy, công thức (12) đã được chứng minh.

Mệnh đề 2: Biểu thức CDF của γ_{E1} được cho bởi:

$$F_{\gamma_{E1}}(x) = \begin{cases} 1, & x > \beta \\ 1 - \frac{\Omega_1(x)}{\lambda_{j,1}\lambda_{j,2}\Omega_2(x)\Omega_3(x)}, & x \leq \beta \end{cases} \quad (13)$$

trong đó

$$\begin{aligned} F_{\gamma_{E1}}(x) &= \int_0^\infty \int_0^\infty F_{g_s}\left[\frac{x(\gamma_{AR}X + \gamma_{AP_2}Y + 1)}{\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)}\right] f_{g_{j,1}}(X) f_{g_{j,2}}(Y) dXdY \\ &= 1 - \int_0^\infty \int_0^\infty \exp\left[-\frac{x(\gamma_{AR}X + \gamma_{AP_2}Y + 1)}{\lambda_5\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)}\right] \frac{1}{\lambda_{j,1}} \exp\left(-\frac{X}{\lambda_{j,1}}\right) \frac{1}{\lambda_{j,2}} \exp\left(-\frac{Y}{\lambda_{j,2}}\right) dXdY \\ &= 1 - \frac{1}{\lambda_{j,1}\lambda_{j,2}} \int_0^\infty \int_0^\infty \exp\left[-\frac{x\gamma_{AR}X}{\lambda_E\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)}\right] \exp\left[-\frac{x\gamma_{AP_2}Y}{\lambda_E\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)}\right] \exp\left[-\frac{x}{\lambda_E\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)}\right] \\ &\quad \times \exp\left[-\frac{X}{\lambda_{j,1}}\right] \exp\left[-\frac{Y}{\lambda_{j,2}}\right] dXdY \\ &= 1 - \frac{1}{\lambda_{j,1}\lambda_{j,2}} \exp\left[-\frac{x}{\lambda_E\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)}\right] \int_0^\infty \exp\left[-X\left(\frac{x\gamma_{AR}}{\lambda_E\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)} + \frac{1}{\lambda_{j,1}}\right)\right] dX \\ &\quad \times \int_0^\infty \exp\left[-Y\left(\frac{x\gamma_{AP_2}}{\lambda_E\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)} + \frac{1}{\lambda_{j,2}}\right)\right] dY \\ &= 1 - \frac{\Omega_1(x)}{\lambda_{j,1}\lambda_{j,2}} \int_0^\infty \exp[-X\Omega_2(x)] dX \int_0^\infty \exp[-Y\Omega_3(x)] dY \\ &= 1 - \frac{\Omega_1(x)}{\lambda_{j,1}\lambda_{j,2}\Omega_2(x)\Omega_3(x)}, \end{aligned}$$

Như vậy, công thức (13) đã được chứng minh.

3. Phân tích hiệu năng hệ thống

Để đánh giá hiệu năng bảo mật của hệ thống, chúng tôi đề xuất sử dụng dung lượng bảo mật của hệ thống. Dung lượng bảo mật của quá trình truyền từ U đến AP_I khi có sự hiện diện của thiết bị nghe lén E là sự khác biệt giữa dung lượng kênh từ U đến AP_I và từ U đến E , và nó được biểu thị như sau:

$$C_{U1} = [C_1 - C_{E1}]^+, \quad (14)$$

$$\Omega_1(x) = \exp\left[-\frac{x}{\lambda_E\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)}\right],$$

$$\Omega_2(x) = \frac{x\gamma_{AR}}{\lambda_E\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)} + \frac{1}{\lambda_{j,1}},$$

$$\Omega_3(x) = \frac{x\gamma_{AP_2}}{\lambda_E\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)} + \frac{1}{\lambda_{j,2}}$$

Chứng minh:

Từ công thức (8), ta khai triển CDF của γ_{E1} như sau:

$$\begin{aligned} F_{\gamma_{E1}}(x) &= \Pr\left(\frac{\alpha_1\gamma_0g_E}{\alpha_2\gamma_0g_E + \gamma_{AR}g_{j,1} + \gamma_{AP_2}g_{j,2} + 1} < x\right) \\ &= \Pr[\gamma_0g_E(\alpha_1 - \alpha_2x) < x(\gamma_{AR}g_{j,1} + \gamma_{AP_2}g_{j,2} + 1)] \\ &= \begin{cases} 1, & x > \beta \\ \Pr\left(g_E < \frac{x(\gamma_{AR}g_{j,1} + \gamma_{AP_2}g_{j,2} + 1)}{\gamma_0(\alpha_1 - \alpha_2x)}\right), & x \leq \beta \end{cases} \end{aligned}$$

Đến đây, chúng tôi chỉ quan tâm trường hợp $x \leq \beta$:

trong đó, $[x]^+ = \max(0, x)$, $C_1 = \int_0^\beta \log_2(1 + \gamma) f_{\gamma_1}(\gamma) d\gamma$

là dung lượng hợp pháp từ U đến AP_I ;

$C_{E1} = \int_0^\beta \log_2(1 + \gamma) f_{\gamma_{E1}}(\gamma) d\gamma$ là dung lượng kênh bất

hợp pháp từ U đến E . Từ đó chúng tôi thu được định lý sau để mô tả dung lượng bảo mật của hệ thống:

Định lý 1: Dưới kênh truyền Rayleigh, biểu thức dạng tường minh xấp xỉ của dung lượng bảo mật là:

$$C_{U1} = \log_2(1 + \beta) \left[-\exp\left[-\frac{\beta}{\lambda_1 \gamma_0 (\alpha_1 - \alpha_2 \beta)}\right] + \frac{\Omega_1(\beta)}{\lambda_{j,1} \lambda_{j,2} \Omega_2(\beta) \Omega_3(\beta)} \right] - \frac{\pi \beta}{2Q \ln 2} \sum_{q=1}^Q \left[\frac{-\exp\left[-\frac{\gamma_q}{\lambda_1 \gamma_0 (\alpha_1 - \alpha_2 \gamma_q)}\right] + \frac{\Omega_1(\gamma_q)}{\lambda_{j,1} \lambda_{j,2} \Omega_2(\gamma_q) \Omega_3(\gamma_q)}}{1 + \gamma_q} \right] \sqrt{1 - x_q^2} \quad (15)$$

trong đó $\beta = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}, \Omega_1(\gamma_q) = \exp\left[-\frac{\gamma_q}{\lambda_E \gamma_0 (\alpha_1 - \alpha_2 \gamma_q)}\right], \Omega_2(\gamma_q) = \frac{\gamma_q \gamma_{AR}}{\lambda_E \gamma_0 \lambda_E \gamma_0 (\alpha_1 - \alpha_2 \gamma_q)} + \frac{1}{\lambda_{j,1}},$

$\Omega_3(\gamma_q) = \frac{\gamma_q \gamma_{AR}}{\lambda_E \gamma_0 (\alpha_1 - \alpha_2 \gamma_q)} + \frac{1}{\lambda_{j,2}}, \gamma_q = \frac{(x_q + 1)\beta}{2}, x_q = \cos\left(\frac{2q-1}{2Q} \pi\right), Q$ là hệ số cân bằng giữa độ phức tạp và độ

chính xác.

Chứng minh:

Trong phần này chúng tôi chứng minh định lý 1. Từ các biểu thức (12, 15 và 16) ta viết lại C_{U1} như sau:

$$\begin{aligned} C_{U1} &= \int_0^\beta \log_2(1 + \gamma) f_{\gamma_1}(\gamma) d\gamma - \int_0^\beta \log_2(1 + \gamma) f_{\gamma_{E1}}(\gamma) d\gamma \\ &= \log_2(1 + \gamma) F_{\gamma_1}(\gamma) \Big|_0^\beta - \frac{1}{\ln 2} \int_0^\beta F_{\gamma_1}(\gamma) [\ln(1 + \gamma)]' d\gamma - \log_2(1 + \gamma) F_{\gamma_{E1}}(\gamma) \Big|_0^\beta + \frac{1}{\ln 2} \int_0^\beta F_{\gamma_{E1}}(\gamma) [\ln(1 + \gamma)]' d\gamma \\ &= \log_2(1 + \beta) [F_{\gamma_1}(\beta) - F_{\gamma_{E1}}(\beta)] - \frac{1}{\ln 2} \int_0^\beta \frac{F_{\gamma_1}(\gamma) - F_{\gamma_{E1}}(\gamma)}{1 + \gamma} d\gamma \end{aligned}$$

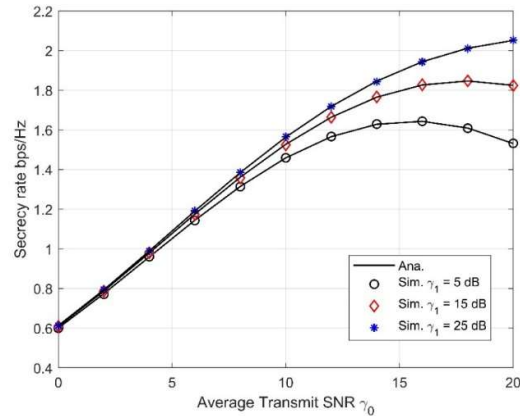
Đến đây ta thay hai biểu thức CDF của γ_1 và γ_{E1} ở biểu thức (12) và (15) cộng với phương pháp biến đổi xấp xỉ cầu phương Gauss-Chebyshev ta thu được kết quả như định lý 1. Đến đây định lý đã được chứng minh

4. Kết quả và thảo luận

Trong phần này, chúng tôi khảo sát dung lượng bảo mật cho mô hình NOMA MEC bảo mật lớp vật lý sử dụng mô phỏng Monte Carlo. Các thông số mô phỏng được cho trong Bảng 1.

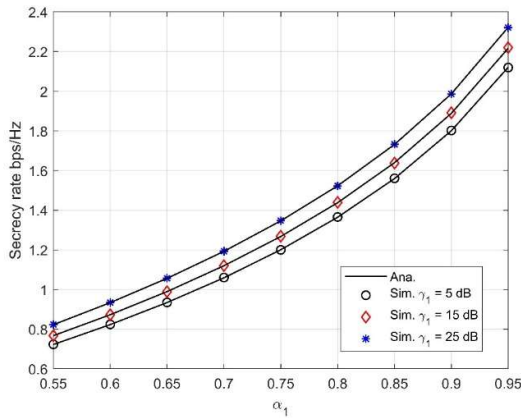
Tên tham số	Ký hiệu	Giá trị tiêu biểu
Môi trường truyền		Rayleigh
Công suất phát của U	P	10 dB
Công suất phát của AP_1	P_1	5-25 dB
Công suất phát của AP_2	P_2	20 dB
Hệ số phân bổ công suất cho AP_1 và AP_2	α_1, α_2	0.8, 0.2

Hình 2 khảo sát hiệu năng dung lượng bảo mật của hệ thống tại AP_1 theo SNR phát trung bình của U (γ_0) với ba mức SNR phát trung bình của AP_1 (γ_1). Ta thấy rằng là khi tăng γ_0 tức là tăng công suất tín hiệu lớn hơn so với công suất của tín hiệu nhiễu. Điều đó sẽ làm cho dung lượng hệ thống tăng lên, tăng tốc độ truyền thông. Ngoài ra ta còn thấy rằng là ở cả ba mức γ_1 khác nhau thì γ_1 càng cao thì hiệu năng hệ thống sẽ được cải thiện lý do là vì AP_1 tăng công suất phát gửi tín hiệu nhiễu đến E thì sẽ làm giảm đi khả năng nghe lén của E từ đó giúp phần hệ thống đảm bảo tính bảo mật.



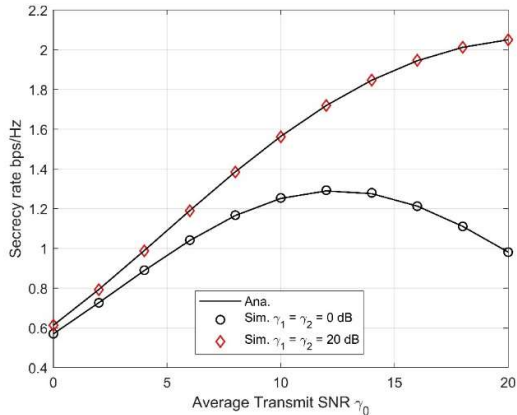
Hình 2: Khảo sát hiệu năng theo SNR phát trung bình và công suất phát của AP_1

Hình 3 minh họa sự ảnh hưởng của hệ số phân bổ công suất với các mức công suất phát tín hiệu gây nhiễu của AP_1 . Ta thấy rằng là khi tăng hệ số phân bổ công suất đến AP_1 thì hiệu năng hệ thống tăng dần vì công suất được phân bổ đến cho AP_1 được nhiều hơn tức tăng công suất tín hiệu thì sẽ khiến cho SNR tại AP_1 tăng từ đó làm tăng dung lượng bảo mật của hệ thống. Tương tự như các mức khảo sát ở hình 1, thì tăng γ_1 sẽ làm cho khả năng giải mã tín hiệu ở E giảm làm tăng cho hiệu năng hệ thống tăng.



Hình 3: Khảo sát hiệu năng theo hệ số phân bổ công suất cho AP_1 và công suất phát của AP_1

Hình 4 minh họa sự ảnh hưởng của SNR trung bình với hai trường hợp: (i) AP_1 và AP_2 không gửi tín hiệu gây nhiễu đến E tức là $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$, (ii) AP_1 và AP_2 gửi tín hiệu gây nhiễu đến E tức là $\gamma_1 = \gamma_2 = 20\text{dB}$. Ta thấy rằng là hiệu năng hệ thống của trường hợp (ii) cao hơn rõ rệt điều đó hiển nhiên vì khi ấy cả hai điểm truy cập đều gửi tín hiệu gây nhiễu đến E để làm giả khả năng giải mã tín hiệu của E .



Hình 4. Khảo sát hiệu năng theo công suất phát của U và công suất phát tại AP_1 và AP_2

5. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi khảo sát dung lượng bảo mật mạng điện toán biên di động NOMA sử dụng kỹ thuật gây nhiễu chủ động, trong đó các phương trình lý thuyết về CDF đã được đưa ra. Các kết quả số đã được cung cấp và

các phép tính lý thuyết đã được so sánh với các kết quả số và đưa ra kết luận rằng việc sử dụng phương pháp gây nhiễu và không gây nhiễu đã được chứng minh rằng là cải thiện hiệu năng hệ thống, giảm hiệu suất nghe lén của E . Tuy nhiên việc phát công suất nhiễu để gây nhiễu cũng sẽ làm ảnh hưởng đến hiệu năng hệ thống, đặc biệt là trong các mạng MEC, đây cũng là vấn đề mà các nhà nghiên cứu trên thế giới quan tâm và hướng đến. Vì vậy trong tương lai chúng tôi sẽ nghiên cứu về các kịch bản liên quan đến về tối ưu hóa năng lượng hoặc là khoảng cách giữa E và các node trong mạng.

Tài liệu tham khảo

- Chowdhury, M. Z., Shahjalal, M., Ahmed, S., & Jang, Y. M. (2020). 6G wireless communication systems: Applications, requirements, technologies, challenges, and research directions. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 957-975.
- Khanh, Q. V., Hoai, N. V., Manh, L. D., Le, A. N., & Jeon, G. (2022). Wireless communication technologies for IoT in 5G: Vision, applications, and challenges. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022(1), 3229294.
- Wang, F., Ren, M., Yang, L., He, B., & Zhou, Y. (2023). Latency optimization of task offloading in NOMA-MEC systems. *IET Communications*, 17(5), 591-602.
- Abd-Elnaby, M., Sedhom, G. G., El-Rabaie, E. S. M., & Elwekeil, M. (2023). NOMA for 5G and beyond: literature review and novel trends. *Wireless Networks*, 29(4), 1629-1653.
- Nencioni, G., Garroppo, R. G., & Olimid, R. F. (2023). 5G multi-access edge computing: A survey on security, dependability, and performance. *IEEE Access*, 11, 63496-63533.
- Van Truong, T., & Nayyar, A. (2024). Enhancing security offloading performance in NOMA heterogeneous MEC networks using access point selection and meta-heuristic algorithm. *Computer Networks*, 110802.
- Nguyen, A. N., Ha, D. B., Van Truong, T., Sanganpong, S., & So-In, C. (2023). Secrecy performance analysis and optimization for UAV-relay-enabled WPT and cooperative NOMA MEC in IoT networks. *IEEE Access*, 11, 127800-127816.
- W. Wang *et al* (2021). Beamforming and Jamming Optimization for IRS-Aided Secure NOMA Networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 21, 1557-1569,

Impact of steel-concrete slippage on cfst column load capacity under torsional loading conditions

Tác động của sự trượt thép-bê tông lên khả năng chịu lực của cột cfst trong điều kiện tải xoắn

My PHAM

¹*Faculty of Civil Engineering, University of Science and Technology, The University of Danang, Vietnam*

Email: pmy@dut.udn.vn

Abstract - The interaction between steel and concrete in Concrete-Filled Steel Tube (CFST) columns plays a crucial role in the overall load-bearing capacity of the structure. Under torsional loading conditions, the bond and slippage between the steel tube and the concrete core significantly affect the column's performance. When slippage occurs, the ability of the steel and concrete to work together as a composite structure decreases. This reduction in composite action leads to a decrease in the torsional resistance of the column. The level of slippage between the steel and concrete, therefore, becomes a critical factor in determining the torsional strength and overall stability of CFST columns under load. By studying and analyzing the slippage behavior under different torsional forces, we can better understand the effects on the load-bearing capacity of CFST columns, thus contributing to the improvement of design and construction practices for structures subjected to torsional loads.

Keywords: CFST; Combined compression-bending-torsion load; Torsional bearing capacity; Compressive torsional capacity; Numerical analysis.

Tóm tắt – Sự tương tác giữa thép và bê tông trong cột ống thép nhồi bê tông (CFST) đóng một vai trò quan trọng trong khả năng chịu tải tổng thể của cột CFST. Dưới điều kiện tải xoắn, liên kết và sự trượt giữa ống thép và lõi bê tông ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất của cột. Khi xảy ra trượt, khả năng của thép và bê tông làm việc cùng nhau như một kết cấu liên hợp bị giảm xuống. Sự giảm tương tác liên hợp dẫn đến sự giảm sức chống xoắn của cột. Mức độ trượt giữa thép và bê tông do đó trở thành yếu tố then chốt để xác định cường độ chịu xoắn và sự ổn định tổng thể của các cột CFST dưới tác động của tải trọng. Bằng cách nghiên cứu và phân tích ứng xử trượt dưới các tác động của tải trọng xoắn khác nhau, chúng ta có thể hiểu rõ hơn về ảnh hưởng của chúng đến khả năng chịu tải của các cột CFST, từ đó góp phần cải thiện thực tiễn thiết kế và xây dựng cho các cấu trúc cột CFST làm việc trong điều kiện chịu tải xoắn.

Từ khóa: – CFST; tải nén-uốn-xoắn liên hợp; khả năng chịu tải xoắn; khả năng chịu tải xoắn; khả năng chịu tải nén-xoắn; phân tích số.

Nghiên cứu giải pháp tháo dỡ sớm cốp pha nhôm trong thi công nhà cao tầng: Phân tích và ứng dụng thực tế

Early removal solutions for aluminum formwork systems in high-rise building construction: analysis and practical application.

Phạm Quang Nhật¹ và Phạm Phú Anh Huy^{1,2,*}

¹ Khoa Xây Dựng, Trường Công Nghệ và Kỹ thuật, Đại Học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

² Trường Công nghệ và Kỹ thuật, Đại Học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

*Email: phamphanhuy@duytan.edu.vn

Tóm tắt: Hệ thống ván khuôn nhôm (VKN) ngày càng được sử dụng rộng rãi trong thi công kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) toàn khối tại Việt Nam. Tuy nhiên, hiện tại vẫn thiếu các tài liệu hướng dẫn chi tiết về tính toán và kiểm tra các bộ phận trong hệ VKN, cũng như các quy phạm kỹ thuật lắp dựng và tháo dỡ chưa được ban hành. Bài báo đã nghiên cứu các đặc điểm cơ bản của VKN, đề xuất quy trình tính toán, kiểm tra, lắp dựng và tháo dỡ, đồng thời cung cấp các lưu ý thiết yếu trong quá trình thi công, giúp các kỹ sư và nhà thầu có thêm tài liệu tham khảo hữu ích. Ngoài ra, nghiên cứu còn đánh giá ảnh hưởng của việc tháo dỡ sớm hệ thống ván khuôn nhôm đối với độ an toàn kết cấu dầm-sàn BTCT, đặc biệt tập trung vào khả năng chống chọc thủng, độ võng và bề rộng vết nứt. Bằng cách sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn và số liệu công trình thực tế, nghiên cứu đã cung cấp các hướng dẫn cụ thể về việc tháo dỡ ván khuôn sớm khi bê tông đạt cường độ yêu cầu. Kết quả cho thấy, có thể tháo dỡ sớm ván khuôn khi cường độ bê tông đạt mức cấp độ bền B12,5, khoảng cách cột chống không vượt quá 1,6m và chiều dày sàn tối thiểu là 200mm. Nghiên cứu này cũng đóng góp các khuyến nghị thực tiễn để tối ưu hóa hiệu suất thi công và đảm bảo an toàn kết cấu.

Từ khóa: Ván khuôn nhôm; Cốp pha nhôm; Thi công bê tông; Ván khuôn định hình; Hệ thống ván khuôn.

Abstract. The aluminum formwork system (AFS) is increasingly being used in the construction of cast-in-place reinforced concrete (RC) structures in Vietnam. However, there is currently a lack of detailed guidance documents on the calculation and inspection of AFS components, as well as the absence of technical regulations for assembly and dismantling. This paper studies the basic characteristics of AFS, proposes procedures for calculation, inspection, assembly, and dismantling, and provides essential considerations during construction to offer engineers and contractors useful reference material. Additionally, the study evaluates the impact of early dismantling of the aluminum formwork system on the safety of RC beam-slab structures, particularly focusing on punching shear resistance, deflection, and crack width. By using the finite element method and real-world construction data, the study offers specific guidelines for early formwork removal when the concrete reaches the required strength. The results show that early formwork removal is feasible when the concrete strength reaches grade B12.5, with prop spacing not exceeding 1.6m and a minimum slab thickness of 200mm. This study also provides practical recommendations to optimize construction performance and ensure structural safety.

Keywords: Aluminum formwork; Aluminum shuttering; Concrete construction; Prefabricated formwork; Formwork system.

1. Tổng quan

Trong quá trình phát triển nhanh chóng của ngành xây dựng hiện đại, nhu cầu áp dụng các công nghệ mới để cải thiện chất lượng công trình, tối ưu hóa thời gian thi công và giảm thiểu chi phí ngày càng trở nên quan trọng. Một trong những cải tiến nổi bật và được áp dụng rộng rãi hiện nay là hệ thống ván khuôn nhôm (VKN). Đặc biệt tại Việt Nam, nơi mà các công trình xây dựng nhà cao tầng ngày càng nhiều, hệ thống VKN đã khẳng định được vai trò quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả thi công và đảm bảo chất lượng kết cấu.

Ván khuôn trong xây dựng và tầm quan trọng: trong thi công các công trình nhà cao tầng, đặc biệt là kết cấu bê tông cốt thép (BTCT), ván khuôn đóng vai trò quan trọng trong việc định hình, hỗ trợ bê tông trong giai đoạn đầu khi chưa đạt đủ cường độ để tự chịu lực. Ván khuôn quyết

định không chỉ hình dạng mà còn ảnh hưởng đến chất lượng của bề mặt bê tông sau khi tháo dỡ. Các loại ván khuôn truyền thống như ván khuôn thép, gỗ hoặc nhựa vẫn được sử dụng rộng rãi, nhưng chúng dần bộc lộ nhiều hạn chế như trọng lượng nặng, độ bền kém, và khả năng tái sử dụng hạn chế. Với sự ra đời của VKN, một bước tiến quan trọng đã được đạt được trong công nghệ xây dựng. VKN không chỉ giải quyết những hạn chế của ván khuôn truyền thống mà còn mang lại nhiều lợi ích vượt trội. Được làm từ hợp kim nhôm, VKN có đặc tính nhẹ, dễ lắp đặt, tháo dỡ, và có khả năng tái sử dụng cao, giúp tiết kiệm chi phí trong dài hạn.

Sự phát triển và ứng dụng của VKN tại Việt Nam: tại Việt Nam, công nghệ VKN mới được đưa vào sử dụng trong một số năm gần đây, chủ yếu từ năm 2008 khi các công ty xây dựng Hàn Quốc giới thiệu sản phẩm này vào thị trường Việt

Nam. Những công trình lớn, điển hình như Keangnam Landmark 72 (Hà Nội), Landmark 81 (Thành phố Hồ Chí Minh), và nhiều dự án khác đã sử dụng hệ thống VKN trong quá trình thi công. Thành công của các dự án này đã giúp khẳng định ưu điểm của VKN và tạo điều kiện cho sự phổ biến của công nghệ này tại các công trình xây dựng nhà cao tầng ở Việt Nam.

Lợi ích kinh tế và môi trường: việc áp dụng VKN mang lại nhiều lợi ích kinh tế rõ rệt. So với các loại ván khuôn khác, hệ thống VKN có thể tái sử dụng hơn 100 lần, giúp giảm đáng kể chi phí mua sắm và lắp đặt trong các dự án dài hạn. Hơn nữa, việc tháo dỡ và tái sử dụng dễ dàng giúp giảm thời gian thi công từ 20-30%, nhờ đó tối ưu hóa hiệu quả lao động và tiết kiệm chi phí nhân công. Không chỉ có lợi về kinh tế, VKN còn là một giải pháp thân thiện với môi trường. Trong bối cảnh các công trình xây dựng đang ngày càng chú trọng đến vấn đề bảo vệ môi trường, VKN đáp ứng tốt các tiêu chí này. Gần như 100% vật liệu VKN có thể được tái chế sau khi sử dụng, giúp giảm thiểu việc khai thác tài nguyên thiên nhiên, đặc biệt là gỗ, và giảm lượng rác thải xây dựng.

Những thách thức trong việc triển khai VKN: tuy ván VKN mang lại nhiều ưu điểm, việc triển khai rộng rãi hệ thống này tại Việt Nam vẫn gặp phải một số thách thức. Một trong những khó khăn chính là chi phí đầu tư ban đầu khá lớn, đặc biệt đối với các công trình nhỏ và vừa. Mặc dù VKN có khả năng tái sử dụng cao, nhưng chi phí mua sắm ban đầu có thể gây trở ngại cho các nhà thầu xây dựng có ngân sách hạn chế.

Bên cạnh đó, do VKN là một công nghệ mới, việc thiếu tiêu chuẩn kỹ thuật cụ thể dễ hướng dẫn lắp đặt và tháo dỡ là một vấn đề cần được khắc phục. Các quy định và hướng dẫn kỹ thuật liên quan đến VKN hiện vẫn chưa được phổ biến rộng rãi tại Việt Nam, dẫn đến việc ứng dụng công nghệ này chưa thực sự tối ưu và gặp nhiều khó khăn trong khâu quản lý thi công. Một số nghiên cứu tại Việt Nam đã chỉ ra ưu và nhược điểm của VKN so với ván khuôn truyền thống. Đào Minh Hiếu và Võ Văn Dân [1] cho thấy việc áp dụng VKN giúp tăng chất lượng, an toàn, giảm 20-30% thời gian thi công so với các loại ván khuôn khác. Họ cũng nhấn mạnh VKN giúp giảm chi phí, nhưng phụ thuộc vào khối lượng và sự trùng lặp của kết cấu. Việc tái sử dụng gần 100% phế liệu từ VKN giúp giảm tác động môi trường. Ngoài ra, họ cho rằng cần đề xuất quy trình lắp dựng và tháo dỡ VKN để tiết kiệm nhân công và

đảm bảo chất lượng. Nguyễn Trường Huy [2] đề xuất các giải pháp nhằm thúc đẩy việc sử dụng VKN, bao gồm hoàn thiện các quy định về thiết kế và tháo dỡ. Ông cũng nhấn mạnh rằng trong thi công nhà cao tầng BTCT, ván khuôn đóng vai trò quan trọng trong việc đẩy nhanh tiến độ, giảm chi phí và nâng cao chất lượng công trình, đồng thời bảo vệ môi trường. Lê Đại Triều [3] nhận xét rằng VKN có cấu tạo đơn giản, dễ thi công, tiến độ nhanh, an toàn cao, và cho bề mặt đẹp, nhưng có tỷ lệ hao hụt khá lớn (20%) và phụ thuộc vào vật tư từ nước ngoài, làm tăng chi phí đầu tư. Ông cũng phân tích chi tiết cấu tạo, tiêu chí kỹ thuật, an toàn, và kinh tế của VKN, đồng thời nêu ra những hạn chế cần cân nhắc khi áp dụng. Cuối cùng, Kiều Thế Sơn và cộng sự [4], dựa trên các tiêu chuẩn trong nước và ACI 347.2R-05 [5], đã nghiên cứu sự phân bố tải trọng thi công và đề xuất quy trình kỹ thuật chống đỡ cho hệ ván khuôn và kết cấu trong thi công nhà cao tầng, chỉ rõ thời gian hợp lý tháo và chống lại cho sàn và dầm phía dưới.

Bên cạnh các nghiên cứu tại Việt Nam, trên thế giới cũng có nhiều nghiên cứu về VKN. Lee và cộng sự [6] đã phát triển phần mềm tính toán và kiểm tra một số bộ phận của VKN, nhưng phần mềm này chưa đáp ứng đầy đủ các yêu cầu tính toán và tiêu chuẩn khác nhau. Johnston [7] đã đề xuất nguyên tắc thiết kế hệ thống ván khuôn theo tiêu chuẩn ACI 347R-94, có thể áp dụng cho VKN. Bajad và cộng sự [8] so sánh hiệu quả của VKN và thông thường, kết luận rằng VKN thích hợp cho nhà cao tầng, giúp tiết kiệm chi phí và cải thiện chất lượng bề mặt bê tông. Thiyagarajan và cộng sự [9] nghiên cứu việc sử dụng VKN tại Ấn Độ, nhận thấy chi phí và thời gian thi công giảm 35-40% so với ván khuôn thông thường, chu kỳ thi công sản phẩm giảm còn 7-10 ngày. VKN giúp giảm chi phí kết cấu từ 20-25%, đồng thời mang lại bề mặt kết cấu phẳng, không cần tô trát, và có thể tái chế, bảo vệ môi trường, giảm khai thác tài nguyên thiên nhiên và gỗ.

Tuy nhiên, các nghiên cứu chỉ ra ở trên vẫn chưa trình bày chi tiết đến các đặc tính, vấn đề về sử dụng, lắp đặt, tháo dỡ VKN. Nghiên cứu này nhằm tổng hợp và đánh giá các khía cạnh quan trọng của VKN trong thi công nhà cao tầng. Bài báo sẽ tập trung vào các đặc điểm cấu tạo, quy trình tính toán, lắp đặt và tháo dỡ VKN, đồng thời đưa ra các lưu ý cần thiết trong quá trình thi công nhằm đảm bảo an toàn và hiệu quả. Qua đó, nghiên cứu hy vọng sẽ cung cấp tài liệu tham

khảo hữu ích cho các nhà thiết kế, kỹ sư và nhà thầu trong quá trình ứng dụng công nghệ này vào thực tế.

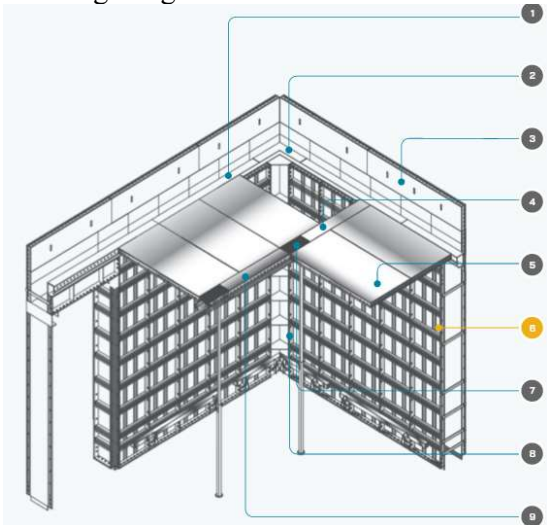
2. Cấu tạo và ưu điểm của VKN

2.1 Cấu tạo của VKN

Hệ thống VKN là một tổ hợp của nhiều thành phần với thiết kế linh hoạt, phù hợp với nhiều loại công trình khác nhau, đặc biệt là các công trình nhà cao tầng và kết cấu bê tông cốt thép (BTCT). Hình vẽ 1 thể hiện cấu tạo của một hệ thống VKN. Các thành phần chính bao gồm:

Khung nhôm (Aluminum frame): được chế tạo từ hợp kim nhôm, khung nhôm có độ bền cao và khả năng chống ăn mòn tốt. Hợp kim nhôm được sử dụng phổ biến là loại 6061-T6 với đặc tính cơ học ưu việt, bao gồm tính nhẹ, độ cứng tốt và khả năng chịu tải cao.

Tấm mặt (Panel face): bề mặt ván khuôn được làm từ nhôm hoặc composite. Tấm mặt này có chức năng tạo hình cho bề mặt bê tông sau khi tháo dỡ ván khuôn, đảm bảo bề mặt bê tông mịn màng, đồng đều và ít phải gia công lại. Tấm mặt cũng giúp bảo vệ cốt thép và bê tông khỏi các tác nhân môi trường trong giai đoạn đầu khi bê tông chưa đông cứng hoàn toàn.



(1): Thanh biên; (2): Thanh góc; (3): Tấm chắn; (4): Dầm cuối; (5): Tấm khuôn mặt; (6): Tấm khuôn vách; (7): Đầu cột chống; (8): Tấm góc tường; (9): Dầm giữa.

Hình 1. Cấu tạo của hệ ván khuôn nhôm [10]

Hệ thống giằng và liên kết (Bracing & Connection system): để đảm bảo sự ổn định của hệ thống ván khuôn, các thanh giằng và mối liên kết giữa các bộ phận được sử dụng. Thanh giằng giúp hệ thống chống lại lực cắt và giữ cho ván khuôn không bị biến dạng trong quá trình thi công. Hệ thống liên kết bao gồm các bulong và

đinh vít, giúp ghép nối các tấm ván khuôn lại với nhau, tạo thành một kết cấu thống nhất.

Cột chống (Props & shoring): các cột chống thường được làm từ thép hoặc hợp kim nhôm có khả năng chịu tải lớn, giúp chống đỡ hệ thống dầm-sàn bê tông trong suốt quá trình đổ bê tông. Cột chống có thể điều chỉnh độ cao, phù hợp với các độ dày sàn khác nhau và các điều kiện thi công khác nhau.

2.2 Ưu và nhược điểm của VKN

Sử dụng hệ thống VKN trong thi công các công trình xây dựng, đặc biệt là nhà cao tầng, mang lại nhiều ưu điểm vượt trội so với các loại ván khuôn truyền thống như gỗ, thép hoặc nhựa. Cụ thể như sau:

- **Trọng lượng nhẹ:** VKN có trọng lượng nhẹ hơn so với ván khuôn thép và gỗ, với mật độ trung bình của nhôm là khoảng 2.7 g/cm³, chỉ bằng 1/3 trọng lượng của thép. Điều này giúp giảm tải trọng lên hệ thống cột chống và dễ dàng vận chuyển, lắp đặt tại công trường, từ đó giảm đáng kể sức lao động và chi phí vận chuyển.

- **Khả năng tái sử dụng cao:** VKN có tuổi thọ cao và có thể tái sử dụng lên đến 100 lần hoặc hơn, trong khi ván khuôn gỗ thường chỉ có thể sử dụng được khoảng 5-10 lần. Khả năng tái sử dụng nhiều lần giúp tiết kiệm chi phí mua sắm nguyên vật liệu cho các công trình xây dựng lớn, dài hạn.

- **Chất lượng bề mặt bê tông tốt:** Nhờ vào tính chính xác và độ phẳng cao của hệ thống VKN, bề mặt bê tông sau khi tháo dỡ rất mịn và đồng đều, giúp giảm chi phí và thời gian cho việc hoàn thiện bề mặt. Điều này đặc biệt quan trọng đối với các công trình yêu cầu thẩm mỹ cao, như các tòa nhà văn phòng, chung cư cao cấp hoặc trung tâm thương mại.

- **Tiết kiệm thời gian thi công:** VKN có cấu trúc đơn giản, dễ lắp đặt và tháo dỡ, giúp rút ngắn thời gian thi công đáng kể. So với các loại ván khuôn truyền thống, thời gian thi công khi sử dụng VKN có thể giảm từ 20% đến 30%. Việc tháo dỡ ván khuôn nhanh chóng còn giúp giảm thời gian chờ đợi giữa các giai đoạn thi công, cho phép các công đoạn tiếp theo có thể được triển khai ngay sau khi bê tông đạt cường độ yêu cầu.

- **Khả năng chống ăn mòn và chịu thời tiết:** Nhôm có khả năng chống ăn mòn tốt trong điều kiện khí hậu khắc nghiệt, đặc biệt là trong các môi trường ẩm ướt, ven biển, nơi mà ván khuôn gỗ hoặc thép dễ bị hư hỏng do nước và muối. Do đó, VKN là sự lựa chọn tối ưu cho các công trình xây dựng tại các khu vực có môi trường khắc nghiệt.

- *Giảm thiểu tác động môi trường*: Khác với ván khuôn gỗ, VKN không đòi hỏi khai thác tài nguyên gỗ tự nhiên, giúp bảo vệ rừng và giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường. Hơn nữa, nhôm là vật liệu có thể tái chế gần như hoàn toàn, do đó sau khi hết vòng đời sử dụng, các bộ phận của VKN có thể được tái chế, giảm lượng rác thải xây dựng.

- *Tiết kiệm chi phí lao động*: Do trọng lượng nhẹ và dễ lắp đặt, VKN giúp giảm số lượng nhân công cần thiết cho quá trình thi công. Bên cạnh đó, việc giảm thời gian thi công và chi phí hoàn thiện bề mặt cũng góp phần giảm chi phí nhân công và tăng hiệu quả kinh tế của dự án.

2.3 Nhược điểm của VKN

Chi phí đầu tư ban đầu cao: hệ thống ván khuôn nhôm có giá thành đắt đỏ so với các loại ván khuôn khác, đòi hỏi một khoản đầu tư lớn ngay từ ban đầu, điều này có thể tạo áp lực tài chính cho các dự án xây dựng nhỏ hoặc những dự án có ngân sách hạn chế.

Thay thế phức tạp và tốn kém: mỗi vị trí trong hệ thống ván khuôn nhôm được thiết kế độc nhất, phù hợp với từng phần cụ thể của công trình. Điều này dẫn đến việc khi có bất kỳ phần nào bị hư hỏng, việc thay thế phải được thực hiện một cách đặc biệt và khó khăn, làm tăng chi phí sửa chữa và thay thế.

Quá trình bảo dưỡng tốn nhiều công sức và chi phí: sau khi tháo dỡ, ván khuôn nhôm đòi hỏi quá trình bảo dưỡng kỹ lưỡng để duy trì chất lượng và khả năng tái sử dụng. Điều này bao gồm việc làm sạch, kiểm tra hao mòn, và sửa chữa các phần hư hỏng, khiến chi phí bảo trì và nhân công tăng cao.

2.4 So sánh với các loại ván khuôn khác

Khi so sánh với các loại ván khuôn truyền thống như gỗ và thép, VKN vượt trội về khả năng tái sử dụng, trọng lượng và độ bền. Trong khi ván khuôn gỗ có chi phí ban đầu thấp nhưng khả năng tái sử dụng kém và dễ bị ảnh hưởng bởi thời tiết, thì VKN có chi phí ban đầu cao hơn nhưng hiệu quả kinh tế tốt hơn trong dài hạn. Ván khuôn thép, mặc dù bền và chịu lực tốt, nhưng lại nặng và khó khăn trong việc vận chuyển, lắp đặt. Do đó, VKN ngày càng được ưa chuộng trong các dự án xây dựng hiện đại.

2.5 Quy trình tính toán và kiểm tra hệ VKN

Việc tính toán và kiểm tra hệ VKN là bước quan trọng nhằm đảm bảo an toàn và hiệu quả trong quá trình thi công. Do các bộ phận của hệ thống

VKN được chế tạo sẵn với các thông số hình học và cơ học đã biết, người thiết kế chỉ cần lựa chọn kích thước phù hợp và thực hiện các bước kiểm tra chịu lực và biến dạng. Quy trình kiểm tra bao gồm hai nhóm chính:

- *Nhóm cấu kiện chịu uốn*: bao gồm các tấm khuôn sàn, khuôn dầm, và các bộ phận chịu lực theo phương ngang. Nhóm này được kiểm tra độ bền dựa trên ứng suất pháp, ứng suất tiếp, và độ võng.

- *Nhóm cấu kiện chịu nén*: bao gồm các cột chống, khuôn chịu nén theo phương thẳng đứng. Nhóm này được kiểm tra về độ bền và tính ổn định.

Cụ thể, khi tính toán cho các tấm khuôn sàn, người thiết kế cần xác định sơ đồ tính, tải trọng tác dụng, và kiểm tra các yếu tố như nội lực, ứng suất pháp, ứng suất tiếp, và độ võng. Đối với cột chống, việc tính toán phải đảm bảo chúng chịu được tải trọng từ bê tông, ván khuôn và các thiết bị thi công mà không bị biến dạng hay mất ổn định.

Điều kiện kiểm tra bền cho ứng suất pháp và ứng suất tiếp:

$$\sigma = (MC_y)/I_x \leq [\sigma] \quad (1)$$

$$\tau = (VS_x)/(I_x t) \leq [\tau] \quad (2)$$

Trong đó: M, V là mô men và lực cắt lớn nhất trong dầm liên tục; C_y là khoảng cách từ trọng tâm đến mép biên của vùng nén, $C_y = t/2$; t là bề dày của tấm khuôn nhôm; S_x, I_x là mô men tĩnh và quán tính của tiết diện đối với trục x ; $[\sigma], [\tau]$ là ứng suất pháp và ứng suất tiếp cho phép, được xác định thông qua giới hạn chảy và giới hạn bền khi thí nghiệm vật liệu;

$$f = (qL^4)/(145EI_x) \leq [f] \quad (3)$$

Trong đó: q là tổng tải trọng tác dụng lên tấm mặt; L là nhịp (khoảng cách giữa 2 tâm của sườn cứng đỡ tấm mặt); E là mô đun đàn hồi của vật liệu nhôm; $[f]$ là độ võng cho phép (dựa trên độ võng cho phép của kết cấu);

Kiểm tra ứng suất nén và điều kiện độ mảnh theo phương trình (4) và (5):

$$\sigma = N/A \leq [\sigma] \quad (4)$$

$$\lambda \leq [\lambda] \quad (5)$$

Trong đó: N là lực nén tác dụng lên cột chống; A là diện tích mặt cắt ngang của cột chống; λ là độ mảnh của cột chống; $[\sigma], [\lambda]$ là ứng suất và độ mảnh cho phép (có thể xác định ứng suất và độ mảnh cho phép thông qua các thí nghiệm trực tiếp).

3. Lắp dựng và tháo dỡ VKN

Lắp dựng VKN là một bước quan trọng trong quá trình thi công kết cấu bê tông cốt thép, đặc biệt đối với các công trình nhà cao tầng. Quy

trình lắp dựng VKN phải tuân thủ nghiêm ngặt các tiêu chuẩn an toàn và kỹ thuật nhằm đảm bảo độ bền vững và chất lượng cho công trình [11].

3.1 Các bước lắp dựng cơ bản

Chuẩn bị mặt bằng và dụng cụ lắp đặt: trước khi lắp dựng, cần chuẩn bị kỹ lưỡng mặt bằng thi công, đảm bảo bề mặt phẳng và không có chướng ngại vật để việc lắp đặt diễn ra thuận lợi. Các dụng cụ như cần cẩu, giàn giáo và các phụ kiện lắp ráp cũng cần được chuẩn bị sẵn sàng để hỗ trợ cho quá trình lắp dựng.

Lắp dựng cột chống: các cột chống được lắp dựng trước để hỗ trợ toàn bộ hệ thống dầm và sàn. Các cột chống có thể điều chỉnh được độ cao tùy thuộc vào chiều cao của công trình và độ dày của sàn bê tông. Cột chống phải được lắp chắc chắn và kiểm tra độ thẳng bằng trước khi lắp các tấm ván khuôn khác.

Lắp đặt khung nhôm và tấm mặt: sau khi hoàn tất việc lắp dựng cột chống, các khung nhôm được lắp đặt vào vị trí theo thiết kế. Các tấm ván khuôn dầm, sàn và vách sau đó được lắp vào hệ khung nhôm thông qua các chốt liên kết. Việc lắp đặt cần tuân thủ đúng thiết kế để đảm bảo sự đồng đều và chính xác về mặt kết cấu. Đặc biệt, với các công trình lớn, việc lắp đặt tấm VKN sẽ được thực hiện theo từng phân đoạn, đảm bảo tiến độ và chất lượng công trình.

Gia cố và kiểm tra hệ thống: sau khi hoàn tất lắp đặt các tấm ván khuôn, hệ thống ván khuôn cần được gia cố bằng các thanh giằng và liên kết. Các kỹ sư sẽ tiến hành kiểm tra lại toàn bộ hệ thống để đảm bảo tính ổn định, thẳng bằng và độ chịu tải trước khi bắt đầu quá trình đổ bê tông.

Đổ bê tông: sau khi hoàn tất việc lắp dựng ván khuôn, bê tông sẽ được đổ vào khuôn. Quá trình đổ bê tông phải đảm bảo liên tục và đều đặn để tránh các vết nứt hoặc khiếm khuyết trên bề mặt bê tông sau khi tháo dỡ.

3.2 Quy trình tháo dỡ VKN

Tháo dỡ VKN cần được thực hiện cẩn thận nhằm tránh làm hư hại kết cấu bê tông và đảm bảo an toàn cho công trình cũng như công nhân thi công. Thời gian và trình tự tháo dỡ phải được tính toán kỹ lưỡng dựa trên cường độ bê tông, thời tiết và tải trọng thi công.

Các bước tháo dỡ cơ bản:

- **Kiểm tra cường độ bê tông:** trước khi tháo dỡ ván khuôn, bê tông phải đạt được cường độ tối thiểu yêu cầu để có thể tự chịu lực mà không cần sự hỗ trợ của ván khuôn. Thông thường, bê tông

cần đạt từ 70% đến 100% cường độ thiết kế trước khi bắt đầu tháo dỡ ván khuôn. Cường độ bê tông được kiểm tra bằng cách lấy mẫu và thử nghiệm tại hiện trường. Việc tháo dỡ quá sớm có thể dẫn đến sụp đổ kết cấu hoặc gây ra các vết nứt trên bề mặt bê tông.

- **Tháo dỡ ván khuôn cột và vách:** quá trình tháo dỡ bắt đầu từ ván khuôn của các kết cấu cột và vách, những phần thường đạt cường độ sớm hơn so với sàn và dầm. Các tấm ván khuôn này thường được tháo dỡ đầu tiên để sử dụng lại cho các tầng khác trong cùng công trình. Việc tháo dỡ phải diễn ra từ trên xuống dưới, theo nguyên tắc "trước cột, sau vách", đảm bảo không gây ra tải trọng cục bộ lên các phần bê tông mới.

- **Tháo dỡ ván khuôn sàn và dầm:** sau khi bê tông sàn và dầm đạt cường độ yêu cầu, quá trình tháo dỡ hệ thống ván khuôn sàn và dầm sẽ được tiến hành. Việc tháo dỡ thường bắt đầu từ khu vực giữa nhịp dầm và di chuyển về phía các gối đỡ. Các tấm ván khuôn sàn có thể được tháo rời dần dần, trong khi vẫn giữ lại các cột chống tạm thời để bảo vệ kết cấu dầm-sàn tránh bị võng hoặc nứt trong quá trình tháo dỡ. Hệ thống cột chống có thể được tháo dỡ sau cùng khi đảm bảo rằng dầm và sàn đã có khả năng chịu tải đủ lớn.

- **Vệ sinh và bảo quản ván khuôn:** sau khi tháo dỡ, các tấm ván khuôn và phụ kiện cần được vệ sinh sạch sẽ để chuẩn bị cho lần sử dụng tiếp theo. Bụi bẩn, cặn bê tông hoặc các tạp chất khác cần được loại bỏ hoàn toàn khỏi bề mặt ván khuôn để đảm bảo bề mặt bê tông sau này vẫn giữ được độ mịn và đồng đều.

3.3 Lưu ý trong quá trình tháo dỡ

- **Thời gian tháo dỡ:** quá trình tháo dỡ cần được lên kế hoạch cụ thể, đảm bảo thời gian chờ đủ để bê tông đạt cường độ yêu cầu. Việc tháo dỡ quá sớm hoặc quá muộn đều có thể gây ảnh hưởng đến chất lượng công trình và tiến độ thi công.

- **An toàn lao động:** tháo dỡ ván khuôn là một công đoạn tiềm ẩn nhiều rủi ro, đặc biệt là khi làm việc ở trên cao. Công nhân tham gia tháo dỡ cần tuân thủ các quy định về an toàn lao động, như việc sử dụng dây an toàn, mũ bảo hộ và kiểm tra kỹ lưỡng hệ thống cột chống trước khi thực hiện tháo dỡ.

- **Bảo quản ván khuôn:** sau khi tháo dỡ, VKN cần được bảo quản đúng cách, tránh va đập hoặc để lâu dưới điều kiện thời tiết xấu để kéo dài tuổi thọ và duy trì chất lượng ván khuôn cho các lần sử dụng tiếp theo.

4. Kiểm tra hệ thống dầm-sàn bê tông cốt thép tại thời điểm tháo dỡ VKN

Việc kiểm tra hệ thống dầm-sàn BTCT tại thời điểm tháo dỡ ván khuôn là rất quan trọng nhằm đảm bảo kết cấu đủ khả năng chịu lực, ổn định và không bị biến dạng khi tháo bỏ hệ thống chống đỡ tạm thời. Các yếu tố cần kiểm tra bao gồm khả năng chịu mô-men, lực cắt, độ võng và sự xuất hiện của các vết nứt trong dầm-sàn.

4.1 Khả năng chịu mô-men và lực cắt

Tại thời điểm tháo dỡ ván khuôn, dầm-sàn bê tông cốt thép cần phải chịu được các tải trọng tác dụng mà không có sự hỗ trợ của ván khuôn. Điều này đòi hỏi khả năng chịu mô-men uốn và lực cắt của kết cấu phải được tính toán và kiểm tra kỹ lưỡng. Khi tháo dỡ ván khuôn, dầm-sàn phải chịu toàn bộ tải trọng tĩnh bao gồm trọng lượng bản thân của sàn, dầm và các tải trọng bổ sung khác. Mô men uốn tại giữa nhịp dầm và tại các gối đỡ cần được tính toán và kiểm tra để đảm bảo kết cấu không bị quá tải, gây ra hiện tượng nứt gãy.

Công thức tính mô men uốn:

$$M \leq M_{gh} = R_b bx(h_0 - x/2); x = (R_s A_s - R_{sc} A'_s) / (R_b b) \quad (6)$$

Lực cắt (Shear force): bên cạnh mô men uốn, lực cắt cũng là yếu tố quan trọng cần kiểm tra. Lực cắt là lực tác dụng theo phương vuông góc với trục dầm, gây ra biến dạng cắt và có thể dẫn đến phá hoại kết cấu nếu không được kiểm soát tốt.

Công thức tính lực cắt tại gối đỡ:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} = (\varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2) / C + \varphi_{sw} q_{sw} \quad (7)$$

Trong các phương trình (6) và (7): R_b, R_{bt}, R_s là cường độ chịu nén, kéo tính toán của bê tông và cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép; A_s, A'_s là diện tích cốt thép dọc chịu kéo và nén tương ứng; $b, h, h_0 = h - a$ lần lượt là chiều rộng, chiều cao và chiều cao hữu hiệu của tiết diện; a là khoảng cách từ trọng tâm của cốt thép chịu kéo đến mặt chịu kéo của tiết diện; R_b, R_{bt} là cường độ chịu nén và chịu kéo tính toán của bê tông; x là chiều cao vùng nén; $\varphi_{b2} = 1,5$ là hệ số xét đến ảnh hưởng của cốt thép dọc, ứng suất bám dính và đặc trưng trạng thái ứng suất của bê tông trên vết nứt nghiêng; $\varphi_{sw} = 0,75$ là hệ số xét đến sự giảm lực nội tại theo chiều dài của hình chiếu vết nứt nghiêng C ; $q_{sw} = R_{sw} A_{sw} / s_w$ là lực trong cốt thép ngang trên mỗi đơn vị chiều dài của cấu kiện; C là hình chiếu của vết nứt nghiêng lên trục của cấu kiện.

4.2 Kiểm tra khả năng chống chọc thủng (Punching shear)

Trong quá trình tháo dỡ ván khuôn, một trong những hiện tượng nguy hiểm nhất cần phải được kiểm tra là khả năng chọc thủng (punching shear). Hiện tượng này xảy ra khi tải trọng tập trung từ các cột chông hoặc gối đỡ gây áp lực quá lớn lên vùng tiếp xúc của dầm-sàn với cột, dẫn đến phá hủy kết cấu tại các điểm tiếp xúc này. Để kiểm tra khả năng chống chọc thủng, cần tính toán sức chịu cắt tại các điểm tiếp xúc với cột và so sánh với sức chịu tải tối đa cho phép của sàn. Nếu sức chịu tải tại các điểm tiếp xúc này không đủ, sàn sẽ bị chọc thủng và sụp đổ cục bộ.

Công thức tính khả năng chống chọc thủng:

$$Q \leq F_{cx} = R_{bt} S_m; S_m = 0,5(u_1 + u_2)h_0 \quad (8)$$

Trong đó: Q là lực cắt lớn nhất tại vị trí tính toán chọc thủng; F_{cx} là lực chọc thủng; S_m là diện tích của hình nón cắt đục lỗ; $u_1 = 2(a + b), u_2 = 2(A + B)$; a, b, A, B là kích thước đáy bé và đáy lớn của tháp chọc thủng.

4.3 Kiểm tra độ võng (Deflection)

Độ võng là một yếu tố quan trọng khác cần kiểm tra để đảm bảo sự an toàn và độ bền của kết cấu dầm-sàn sau khi tháo dỡ ván khuôn. Khi dầm-sàn bị võng quá mức, nó không chỉ gây ra các vết nứt, ảnh hưởng đến thẩm mỹ, mà còn làm giảm khả năng chịu tải và gây nguy hiểm cho toàn bộ kết cấu. Theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 [13], độ võng tối đa cho phép của sàn dầm là $L/250$, trong đó L là chiều dài nhịp dầm. Việc tính toán độ võng cần dựa trên tải trọng thực tế và tính chất của vật liệu bê tông cốt thép. Công thức tính độ võng:

$$f \leq [f] = 1/r = (1/r)_1 + (1/r)_2 \quad (9)$$

Trong đó, $(1/r)_1$ và $(1/r)_2$ lần lượt là độ cong do tác động ngắn hạn của toàn bộ tải trọng và tác động ngắn hạn của tải trọng thường xuyên và tạm thời. Trong quá trình tính toán và kiểm tra tại thời điểm thi công, độ cong được xác định như sau: $(1/r) = M/D$, trong đó $D = E_{b1} I_{red}$ là độ cứng uốn của diện tích mặt cắt ngang chuyển đổi, E_{b1} là mô đun biến dạng của bê tông dưới lực nén (được xác định tùy thuộc vào thời gian tác động của tải trọng).

4.4 Kiểm tra sự xuất hiện vết nứt (Crack width)

Vết nứt là hiện tượng phổ biến khi tháo dỡ ván khuôn nếu kết cấu dầm-sàn không đạt cường độ yêu cầu hoặc chịu tải trọng quá lớn. Vết nứt có thể làm giảm khả năng chịu tải của bê tông và gây thấm nước, ảnh hưởng đến tuổi thọ của công trình. Theo TCVN 5574:2018 [13], chiều rộng vết

nứt tối đa cho phép là 0,4mm. Việc kiểm tra và kiểm soát chiều rộng vết nứt phải được thực hiện trước và sau khi tháo dỡ ván khuôn, nhằm đảm bảo kết cấu không bị ảnh hưởng lớn và giảm thiểu các hiện tượng thấm nứt trong quá trình sử dụng.

Công thức tính chiều rộng vết nứt:

$$M \leq M_{cr} = W_{pl} R_{bt,ser} \pm N e_x \quad (10)$$

Trong đó, M và M_{cr} lần lượt là mô men và mô men gây nứt của tiết diện; $W_{pl} = \gamma W_{red}$ là khả năng chịu mô men đàn hồi của tiết diện cho lớp bê tông ngoài cùng chịu kéo; $e_x = W_{red} / A_{red}$ là khoảng cách từ điểm đặt của lực dọc N (nằm tại trọng tâm của tiết diện chuyển đổi của cấu kiện) đến điểm lõi xa hơn vùng chịu kéo, nơi cần kiểm tra sự hình thành vết nứt; W_{red} là khả năng chịu mô men đàn hồi của tiết diện chuyển đổi cho vùng chịu kéo của tiết diện, với $W_{red} = I_{red} / y_t$; trong đó, I_{red} là mô men quán tính của tiết diện chuyển đổi của cấu kiện quanh trọng tâm của nó, với $I_{red} = I + \alpha I_s + \alpha I'_s$; I, I_s, I'_s lần lượt là mô men quán tính của tiết diện bê tông, của cốt thép chịu kéo, và của cốt thép chịu nén; $A_{red} = A + \alpha A_s + \alpha A'_s$; A, A_s, A'_s lần lượt là diện tích mặt cắt ngang của bê tông, cốt thép chịu kéo, và cốt thép chịu nén; $\alpha = E_s / E_b$ là hệ số chuyển đổi từ thép sang bê tông; $y_t = S_{t,red} / A_{red}$, trong đó $S_{t,red}$ là mô men tĩnh của tiết diện chuyển đổi của cấu kiện quanh lớp bê tông ngoài cùng chịu kéo.

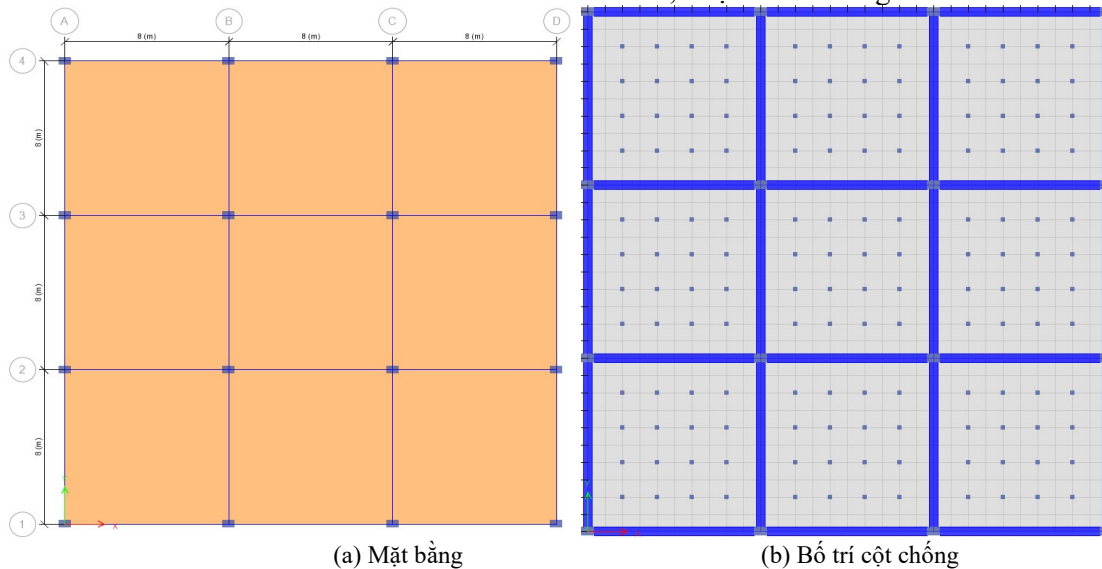
4.5 Điều kiện môi trường và thời gian tháo dỡ

Ngoài các yếu tố kỹ thuật, điều kiện môi trường (nhiệt độ, độ ẩm) và thời gian tháo dỡ cũng ảnh

hưởng lớn đến sự an toàn khi tháo dỡ ván khuôn. Nhiệt độ cao có thể làm cho bê tông đông cứng nhanh hơn, trong khi điều kiện ẩm ướt hoặc nhiệt độ thấp có thể làm chậm quá trình phát triển cường độ của bê tông. Thời gian tháo dỡ phải được tính toán cẩn thận để đảm bảo bê tông đạt cường độ đủ trước khi ván khuôn bị tháo dỡ.

5. Các yếu tố ảnh hưởng đến việc tháo dỡ sớm ván khuôn đầm-sàn

Sử dụng thông tin từ dự án xây dựng ASIANA [12] đang được triển khai tại Đà Nẵng - Việt Nam, kiểm tra hệ thống đầm-sàn bê tông cốt thép tại thời điểm tháo dỡ ván khuôn với các thông tin chi tiết sau: kích thước sàn (8×8)m, bê tông cấp độ bền B50 với cường độ chịu nén $R_b = 36MPa$; thép cốt loại CB500V với cường độ chảy $R_s = R_{sc} = 435MPa$; độ dày sàn là 150 mm; kích thước mặt cắt ngang dầm (400×600)mm; lớp bảo vệ bê tông dày 40 mm, cốt thép lớp trên $\phi 14a200$; cốt thép lớp dưới $\phi 12a100$; và khoảng cách các cột chống theo hai hướng là 1,2m. Việc kiểm tra tháo dỡ ván khuôn sớm là cần thiết để đảm bảo bê tông đạt được cường độ tối thiểu. Giả định kiểm tra tháo dỡ sớm được thực hiện khi bê tông đạt cường độ B15 ($R_b = 7,5MPa$; $R_{bt} = 0,66MPa$; $R_{bn} = 1,0MPa$; $E_b = 21000MPa$). Để kiểm tra cách các yếu tố như cường độ bê tông, số lượng điểm đỡ và độ dày sàn ảnh hưởng đến khả năng chịu tải, độ võng và độ rộng vết nứt của hệ thống đầm-sàn bê tông cốt thép (RC), nghiên cứu này sử dụng một mẫu hệ thống đầm-sàn, được mô tả trong hình vẽ 2.

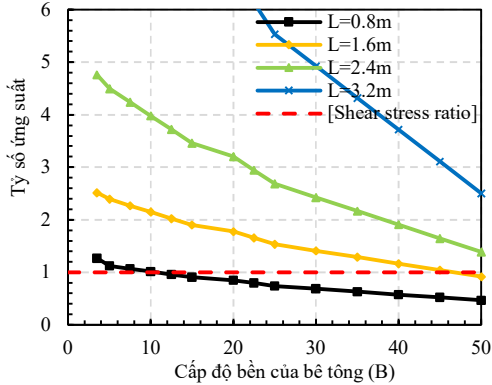


Hình 2: Mặt bằng và bố trí cột chống hệ VKN

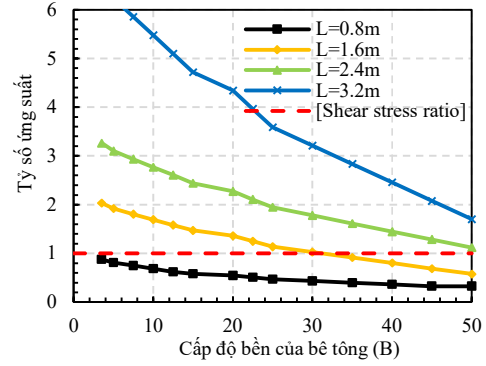
Để nghiên cứu và phát triển các giải pháp cho việc tháo dỡ ván khuôn đầm-sàn sớm, các tác giả sử dụng phương pháp phân tử hữu hạn như một công cụ phân tích toàn diện. Phương pháp này

được áp dụng để đánh giá một số yếu tố quan trọng, bao gồm lực cắt dọc lỗ, độ võng và sự nứt trong cả sàn và dầm. Phân tích tập trung vào hiệu suất kết cấu tại giai đoạn cụ thể khi ván khuôn được tháo dỡ sớm hơn so với lịch trình thông thường. Bằng cách áp dụng phương pháp phân tử hữu hạn, nghiên cứu nhằm cung cấp sự hiểu biết chi tiết về việc tháo dỡ ván khuôn sớm ảnh hưởng như thế nào đến tính toán vệt kết cấu của hệ

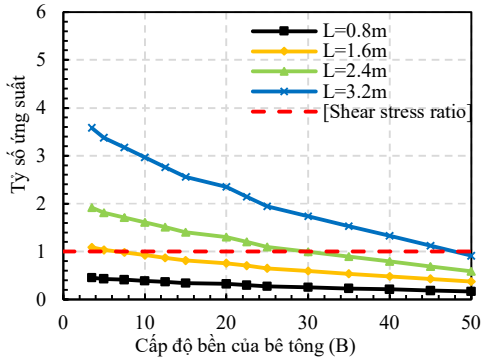
thống dầm-sàn, đảm bảo rằng các tiêu chí an toàn và hiệu suất được đáp ứng trong các điều kiện đã điều chỉnh. Kết quả tính toán về chọc thủng, độ võng và độ rộng vết nứt, tương ứng với khoảng cách các cột chông là 0,8m, 1,6m, 2,4m, và 3,2m, cùng với các độ dày sàn là 80mm, 120mm, 150mm, 200mm, và 300mm, được minh họa trong các hình vẽ 3, 4 và 5.



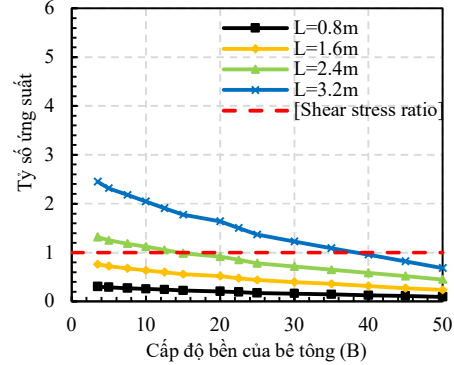
(a) $h_s = 80mm$



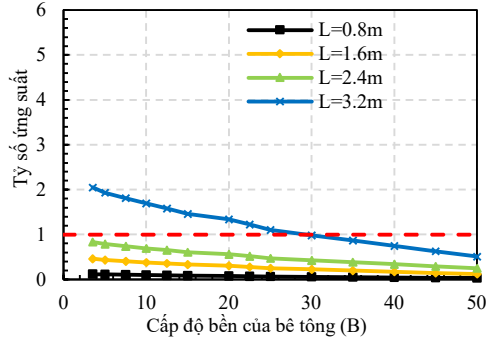
(b) $h_s = 100mm$



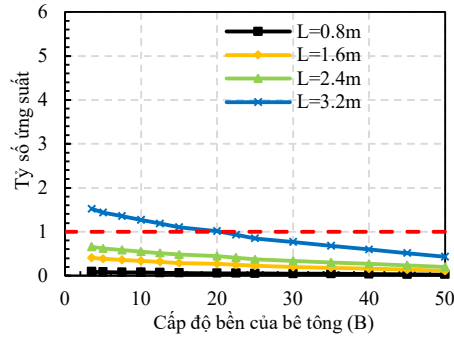
(d) $h_s = 150mm$



(e) $h_s = 200mm$



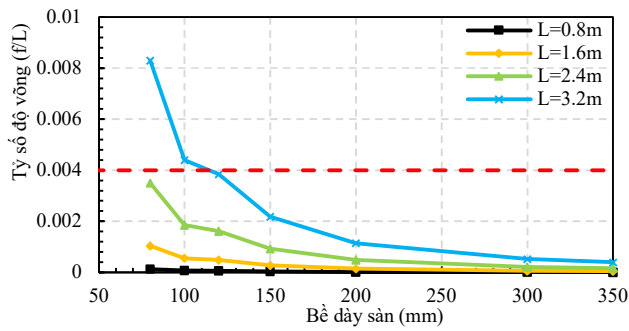
(f) $h_s = 300mm$



(g) $h_s = 350mm$

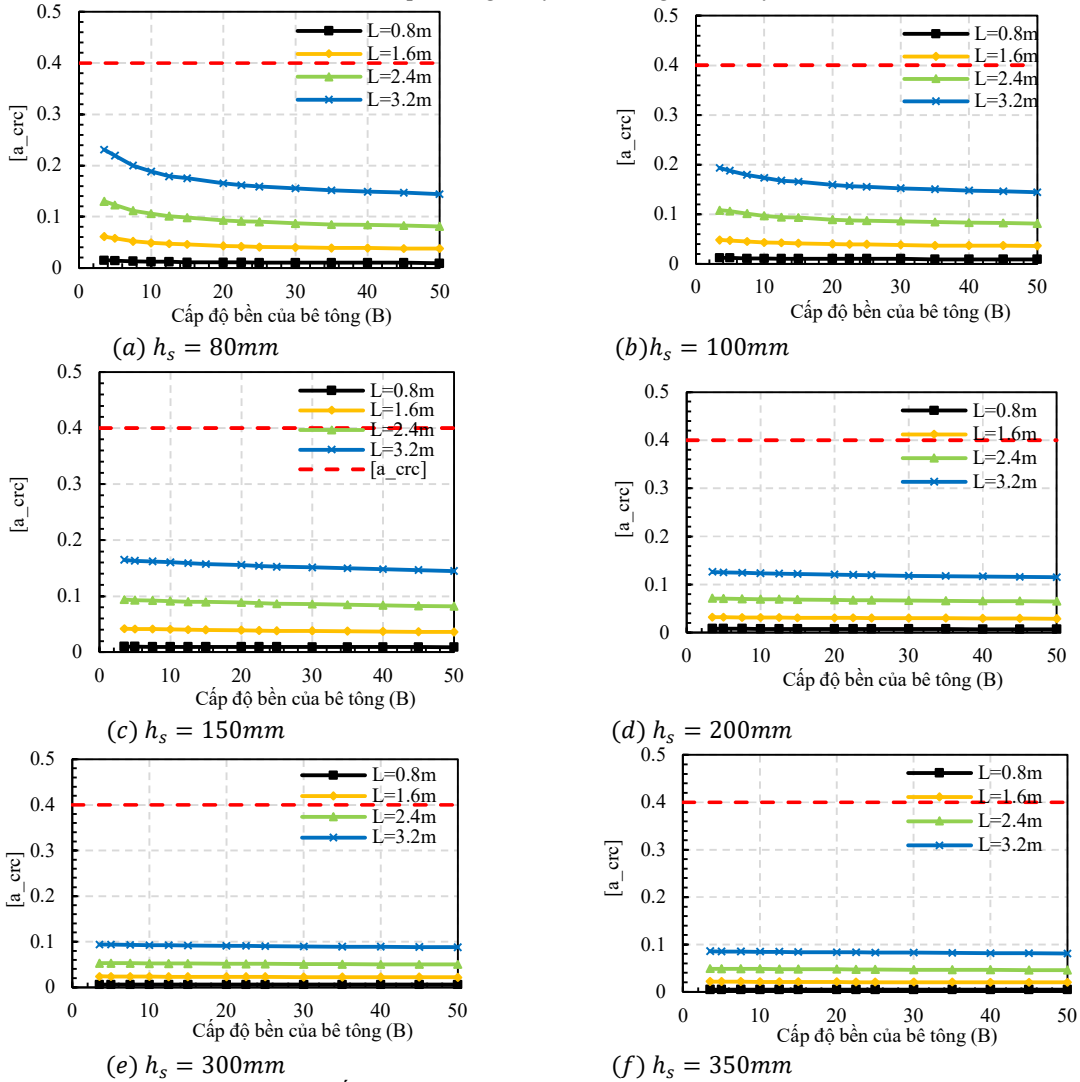
Chú thích: Tỷ số ứng suất cắt = ứng suất cắt tối đa / khả năng chịu cắt của bê tông; Cường độ chịu nén thiết kế của bê tông được xác định dựa trên cấp cường độ B theo TCVN 5574:2018 [13].

Hình 3: Mối quan hệ giữa cường độ bê tông và khả năng chống chọc thủng



Chú thích: Tỷ số độ võng cho phép $[f/L] = 1/250 = 0.004$ theo TCVN 5574:2018 [13].

Hình 4: Mối quan hệ giữa tỷ số độ võng và độ dày sàn



(e) $h_s = 300mm$

(f) $h_s = 350mm$

Chú thích: Độ rộng vết nứt cho phép $[a_{cr}] = 0.4mm$ theo TCVN 5574:2018 [13].

Hình 5: Mối quan hệ giữa độ rộng vết nứt và cấp độ bền bê tông

Hình vẽ 3 minh họa mối quan hệ giữa cường độ bê tông tại thời điểm tháo dỡ (biểu thị bằng cấp cường độ) và khả năng chịu lực cắt đục lỗ của sàn (được biểu thị bằng tỷ số ứng suất cắt = ứng suất cắt / khả năng chịu cắt) tương ứng với các khoảng cách cột chống khác nhau ($L = 0,8 - 3,2m$) và độ dày sàn ($h_s = 80 - 300mm$). Có thể thấy rằng sàn sẽ không gặp hiện tượng chọc thủng nếu

tỷ số ứng suất cắt ≤ 1 (đường màu đỏ trong hình vẽ 3 biểu thị tỷ số ứng suất cắt cho phép). Tương tự, hình vẽ 5 minh họa mối quan hệ giữa cường độ bê tông tại thời điểm tháo dỡ (biểu thị bằng cấp cường độ B) và độ rộng vết nứt cho phép ($[a_{cr}]$) tương ứng với L và h_s . Trong khi đó, hình vẽ 4 minh họa mối quan hệ giữa tỷ số độ võng (tỷ số độ võng = độ võng / nhịp) và h_s tương

ứng với L (đường màu đỏ trong Hình 6 biểu thị tỷ số độ võng/nhịp cho phép ($[f/L]$). Một số kết luận được rút ra từ kết quả tính toán trong các hình vẽ 3 đến 5 như sau:

- Rõ ràng, việc đánh giá các tiêu chí về chọc thủng, độ võng, và độ rộng vết nứt tại thời điểm tháo dỡ ván khuôn là rất quan trọng để đảm bảo an toàn kết cấu.

- Tăng cường độ bê tông giúp cải thiện khả năng chống chọc thủng của sàn bằng cách giảm tỷ số ứng suất cắt. Cường độ bê tông có tác động đáng kể đến khả năng chịu cắt đục lỗ của sàn, trong khi ảnh hưởng của nó lên độ võng và nứt của hệ dầm-sàn ít rõ rệt hơn.

- Với độ dày sàn lớn hơn 100mm, sàn đáp ứng yêu cầu về độ võng cho tất cả các khoảng cách cột chống được xem xét trong nghiên cứu ($L = 0,8m - 3,2m$).

- Khi khoảng cách cột chống nhỏ hơn 3,2m, độ rộng vết nứt đáp ứng tiêu chuẩn cho dù cường độ bê tông thế nào.

- Có thể nhận thấy rằng khi bê tông đạt cường độ thiết kế B50, hệ thống dầm-sàn đáp ứng các yêu cầu an toàn về chọc thủng, độ võng và độ rộng vết nứt, với điều kiện khoảng cách cột chống không vượt quá 1,6m.

- Các yếu tố chính ảnh hưởng đến việc tháo dỡ ván khuôn sớm trong hệ thống dầm-sàn bao gồm cường độ bê tông tại thời điểm tháo dỡ, khoảng cách cột chống và độ dày sàn.

- Dựa trên các tiêu chí về chọc thủng, độ võng và độ rộng vết nứt, có thể kết luận rằng việc tháo dỡ cột chống sớm là khả thi khi cường độ bê tông đạt khoảng B12,5 với khoảng cách cột chống $L \leq 0,8m$. Trong trường hợp khoảng cách cột chống $L > 0,8m$, cần cân nhắc các yếu tố ảnh hưởng để đảm bảo an toàn khi tháo dỡ ván khuôn sớm.

- Tại thời điểm tháo dỡ sớm (với cường độ bê tông B12,5), khi $L \leq 1,6m$, hệ dầm-sàn sẽ an toàn nếu độ dày sàn $h_s \geq 150mm$. Khi $L \leq 2,4m$, hệ dầm-sàn sẽ an toàn nếu $h_s > 200mm$. Khi $L \leq 3,2m$, hệ dầm-sàn sẽ an toàn nếu $h_s \geq 300mm$. Tại các thời điểm tháo dỡ khác, có thể sử dụng các hình vẽ 3 đến 5 để xác định khoảng cách cột chống và độ dày sàn cần thiết.

6. Kết luận

Nghiên cứu đã phân tích một cách chi tiết các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình lắp dựng và tháo dỡ hệ thống VKN trong thi công bê tông cốt thép, đặc biệt là khi tháo dỡ ván khuôn sớm. Các yếu tố chính được xác định bao gồm cường độ bê

tông tại thời điểm tháo dỡ, khoảng cách cột chống, và chiều dày sàn bê tông. Khi tháo dỡ ván khuôn sớm, điều quan trọng là cường độ bê tông phải đạt tối thiểu 70-80% cường độ thiết kế để đảm bảo kết cấu không bị võng hoặc nứt. Cường độ bê tông cao không chỉ tăng cường khả năng chịu lực mà còn giúp kháng hiện tượng đục thủng tại các cột chống. Bên cạnh đó, việc duy trì các cột chống tạm thời cũng đóng vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ kết cấu dầm-sàn trong giai đoạn đầu của quá trình tháo dỡ. Chiều dày sàn tối thiểu 150mm đối với nhịp dưới 1,6m và từ 200mm đến 300mm đối với các nhịp lớn hơn được khuyến nghị để đảm bảo độ cứng và khả năng chịu lực của sàn bê tông. Đối với các sàn dày hơn 100mm, các yêu cầu về độ võng và chiều rộng vết nứt đều được đáp ứng, ngay cả khi khoảng cách cột chống lớn hơn 3,2m. Cuối cùng, nghiên cứu cũng khẳng định rằng việc tháo dỡ sớm có thể được thực hiện an toàn với các điều kiện thích hợp về cường độ bê tông, khoảng cách cột chống, và chiều dày sàn. Tuy nhiên, việc áp dụng các biện pháp an toàn và kiểm tra kỹ lưỡng là rất cần thiết để đảm bảo không làm ảnh hưởng đến chất lượng và độ bền của kết cấu.

Nghiên cứu mặc dù cung cấp nhiều thông tin chi tiết về các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tháo dỡ sớm ván khuôn sàn dầm, nhưng vẫn có một số hạn chế cần được xem xét. Việc thiếu dữ liệu thực nghiệm tại công trường, đặc biệt trong bối cảnh thực tế tại Việt Nam hoặc trong các điều kiện khí hậu đặc thù, khiến cho các mô hình lý thuyết và tính toán kỹ thuật chưa hoàn toàn chính xác khi áp dụng vào thực tiễn. Bên cạnh đó, các yếu tố môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, gió và điều kiện bảo dưỡng bê tông tại công trường có thể ảnh hưởng đáng kể đến thời gian tháo dỡ và chất lượng kết cấu, nhưng nghiên cứu chưa đánh giá chi tiết mức độ tác động của chúng. Hơn nữa, nghiên cứu chỉ tập trung vào ván khuôn nhựa mà chưa xem xét đầy đủ các loại vật liệu khác như thép, gỗ hay composite, điều này làm hạn chế khả năng so sánh hiệu quả giữa các loại ván khuôn và chưa cung cấp giải pháp tối ưu cho từng loại công trình cụ thể.

Để khắc phục các hạn chế và mở rộng phạm vi ứng dụng của nghiên cứu, một số hướng nghiên cứu tiếp theo có thể được thực hiện. Việc tiến hành các thí nghiệm thực tế tại công trường trong nhiều điều kiện thi công khác nhau, như ở các vùng khí hậu khô, ẩm hoặc lạnh, sẽ cung cấp dữ liệu thực nghiệm đáng tin cậy, giúp cải thiện độ

chính xác của các mô hình tính toán và dự đoán trong việc tháo dỡ ván khuôn. Cùng với đó, việc phát triển các mô hình đánh giá tác động của môi trường như nhiệt độ và độ ẩm đến quá trình đông cứng của bê tông sẽ hỗ trợ dự đoán tốt hơn thời gian tháo dỡ an toàn trong các điều kiện thi công khác nhau. Ngoài ra, cần tiến hành nghiên cứu so sánh hiệu quả giữa các loại ván khuôn khác nhau như nhôm, thép, gỗ và composite để đánh giá tính khả thi và hiệu quả kinh tế, giúp các nhà thầu có lựa chọn tối ưu cho từng loại công trình. Cuối cùng, nghiên cứu về tính bền vững và tác động môi trường của việc sử dụng các loại ván khuôn, với trọng tâm vào khả năng tái sử dụng, tái chế và giảm thiểu phát thải, sẽ giúp phát triển các giải pháp xây dựng thân thiện với môi trường hơn.

References

- [1] Dao MH, Vo VD. Ứng dụng cốt pha nhôm trong thi công xây dựng. Tạp Chí Khoa Học và Kiến Trúc 2022;45:112–6.
- [2] Nguyen TH. Giải pháp thúc đẩy sử dụng ván khuôn nhôm trong thi công xây dựng tại Việt Nam. Người Xây Dựng 2021;Tháng 3 và:47–53.
- [3] La ĐT. Nghiên cứu sử dụng ván khuôn nhôm thay thế các loại ván khuôn truyền thống. Đại học Dân lập Hải Phòng, 2017.
- [4] Kieu TS, Kieu TC, Tran QD. Nghiên cứu thiết kế quy trình chống/chống lại hệ ván khuôn trong thi công kết cấu bê tông cốt thép toàn khối nhà cao tầng theo tiêu chuẩn ACI 347.2 R-05. Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng (KHCNXD)-ĐHXDHN 2020;14:39–53.
- [5] Adams RD, Erson JC, Johnston DW, Moore RC, Berndt KL, Gardner NJ, et al. Guide for Shoring/Reshoring of Concrete Multistory Buildings 2005.
- [6] Lee B, Choi H, Min B, Lee D-E. Applicability of formwork automation design software for aluminum formwork. Appl Sci 2020;10:9029.
- [7] Johnston DW. Formwork for concrete. 2014.
- [8] Bajad DMN, Shah RP, Ughareja HC. A State of Art Review on Aluminium Formwork Systems. Int J Eng Res Online 2016;4:292–6.
- [9] Thiyagarajan R, Panneerselvam V, Nagamani K. Aluminium formwork system using in highrise buildings construction. Int J Adv Res Eng Technol 2017;8:29–41.
- [10] Rivankar H, Chordiya A. Aluminium formwork technology. Int J Adv Res Sci Eng Technol 2017;4.
- [11] Pham PAH, Nhat PQ, Nguyen QL, Pham VH. Design and use of aluminum formwork in high-rise building construction in Vietnam. J Sci Technol Duy Tan Univ 2024;63:10–23.
- [12] Company for Research and Application of Bach Khoa Engineering Technology. Report on the Test Results of Aluminum Formwork and Shoring Columns - ASIANA Apartment Complex Project, Da Nang. Ho Chi Minh: 2022.
- [13] Institute of Building Science and Technology - Ministry of Construction. Concrete and reinforced concrete structures - Design standards (TCVN 5574:2018). 1st ed. Ha Noi: Ministry of Science and Technology; 2018.

Nghiên cứu ảnh hưởng của khối xây chèn đến sự làm việc của khung bê tông cốt thép có xét đến ảnh hưởng của lỗ cửa

The study on the impact of infill masonry on the performance of reinforced concrete frames considering the effect of openings.

Lê Cao Vinh¹, Nguyễn Văn Tiền², Phạm Phú Anh Huy^{1,3*}

¹Khoa Xây dựng, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

²Công ty TNHH Xây dựng Hữu Tiền, Đà Nẵng, Việt Nam

³Viện Nghiên Cứu Phát Triển, Đại Học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

*Email: phamphanhuy@duytan.edu.vn

Tóm tắt. Nghiên cứu này khảo sát ảnh hưởng của tường xây chèn (TXC) đến sự làm việc của khung bê tông cốt thép (BTCT), đặc biệt là khi có sự hiện diện của các lỗ mở trên tường. Các tham số khác nhau, bao gồm chiều dày tường (d), tỷ lệ mở lỗ, và sự đối xứng của các lỗ mở, đã được phân tích để xác định ảnh hưởng của chúng đến ứng xử của khung BTCT. Nghiên cứu cho thấy các lỗ mở, đặc biệt là khi được bố trí không đối xứng, làm tăng đáng kể độ dịch chuyển ngang của khung BTCT. Tường mỏng ($d = 70$ mm) nhạy cảm hơn với những thay đổi này, cho thấy sự gia tăng lớn về độ dịch chuyển và sự giảm khả năng chịu lực cắt khi tỷ lệ mở lỗ tăng. Ngược lại, tường dày ($d = 330$ mm) giúp giảm thiểu các tác động tiêu cực này, mặc dù lỗ mở đối xứng vẫn mang lại hiệu suất tốt hơn trong việc duy trì độ ổn định của khung. Ngoài ra, phân tích lực cắt cho thấy các khung BTCT với lỗ mở đối xứng có thể chịu lực cắt cao hơn, đặc biệt khi tỷ lệ mở lỗ nằm trong khoảng từ 20% đến 60%, so với những khung có lỗ mở không đối xứng. Kết quả này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc tối ưu hóa chiều dày tường và bố trí hợp lý các lỗ mở để đảm bảo tính toàn vẹn và độ ổn định của khung BTCT trong các khu vực có nguy cơ địa chấn.

Từ khóa: tường xây chèn; tường xây chèn khung; tường xây gạch; khung bê tông cốt thép; ứng xử của kết cấu; ảnh hưởng của việc mở lỗ trên tường.

Abstract. This study investigates the impact of infill walls on the performance of reinforced concrete (RC) frames, specifically considering the influence of the openings in the wall. Various parameters, including wall thickness (d), the ratio of opening size, and the symmetry of openings, were analyzed to determine their effects on structural behavior. The study demonstrates that the openings, particularly when asymmetrically positioned, significantly increase the lateral displacement of RC frames. Thin walls ($d = 70$ mm) are more sensitive to these changes, showing greater increases in displacement and reductions in shear capacity as the opening ratio increases. Conversely, thick walls ($d = 330$ mm) help mitigate these negative effects, although symmetric openings still provide superior performance in maintaining frame stability. Additionally, the shear force analysis revealed that RC frames with symmetric openings sustain higher shear forces, especially when the opening ratio is between 20% and 60%, compared to those with asymmetric openings. The findings underscore the importance of optimizing wall thickness and the strategic placement of openings to ensure the structural integrity and stability of RC frames in seismic regions.

Keywords: infill walls, frame-infill interaction, masonry walls, reinforced concrete frames, structural behavior, effects of wall openings.

1. Đặt vấn đề

Khung bê tông cốt thép (BTCT) với tường xây chèn (TXC) là một hệ kết cấu phổ biến được sử dụng trong các công trình xây dựng ở Việt Nam và trên toàn thế giới. TXC, thường được làm bằng gạch hoặc vật liệu xây dựng khác, là các thành phần không chịu lực được tích hợp bên trong khung BTCT và ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử tổng thể của kết cấu. Mặc dù TXC không được thiết kế chủ yếu để chịu tải trọng kết cấu, sự hiện diện của chúng làm thay đổi độ cứng, độ bền và đặc tính động của khung BTCT. Do đó, tương tác giữa khung BTCT và TXC trở nên quan trọng trong việc hiểu rõ khả năng chịu động đất, phân bố tải trọng và đặc tính biến dạng của các công trình xây dựng. Ảnh hưởng của TXC lên khung BTCT có thể rất phức tạp do nhiều yếu tố như độ dày của tường, tỷ lệ các lỗ mở (ví dụ

như cửa đi và cửa sổ), đặc tính vật liệu và sự phân bố của TXC trong khung. Độ cứng của TXC thường tăng khả năng chịu tải trọng ngang và giảm độ dịch chuyển tổng thể của khung BTCT. Tuy nhiên, sự hiện diện của các lỗ mở trong tường có thể ảnh hưởng đáng kể đến đóng góp của chúng vào phản ứng kết cấu, có thể dẫn đến các hư hỏng cục bộ, cơ chế tầng yếu, hoặc phân bố ứng suất không đều. Việc hiểu rõ những ảnh hưởng này là cần thiết cho việc thiết kế và đảm bảo an toàn của khung BTCT, đặc biệt là trong các khu vực có nguy cơ động đất.

Phan Văn Huệ [1] đã chỉ ra rằng sự tương tác giữa TXC và khung BTCT xung quanh dưới tác động của tải trọng ngang làm tăng độ cứng uốn của các dầm khung. Điều này dẫn đến việc thay đổi nguyên tắc thiết kế cơ bản "dầm yếu – cột khỏe" được quy định trong các tiêu chuẩn thiết kế kháng chấn, khi không tính đến sự tương tác

với tường chèn. Các kết quả nghiên cứu trong bài báo này đã định lượng được sự gia tăng độ cứng và khả năng chịu uốn của dầm khung khi xét đến tương tác với tường chèn dưới tác động của động đất. Dựa trên kết quả này, một điều kiện thiết kế mới đã được đề xuất cho các cột BTCT nhằm đảm bảo cơ chế phá hoại dẻo xuất hiện trong các khung BTCT chịu động đất theo TCVN 9386:2012. Các kết quả kiểm tra thông qua phân tích tĩnh phi tuyến trên hệ kết cấu khung chèn được thiết kế theo TCVN 9386:2012 cho thấy sự phù hợp hoàn toàn với các nghiên cứu lý thuyết.

Đình Lê Khánh Quốc [2] đã mô hình thành chéo tương đương cải tiến (ba đoạn) do tác giả đề xuất đã mô phỏng chính xác sự phân phối nội lực trong TXC trong giai đoạn đàn hồi, với độ chính xác cao hơn so với các mô hình thành chéo đơn trước đây. Mô hình này có cấu tạo đơn giản và dễ thực hiện, giúp cải thiện đáng kể khả năng chịu tải ngang của khung BTCT có TXC nếu khe hở được thiết kế hợp lý. Trong thí nghiệm, khung cải tiến K3a-II cho thấy khả năng chịu tải tối đa (P_{max}) cao nhất và quá trình nứt tường và khung xảy ra gần như đồng thời. Độ cứng của TXC sau khi nứt không giảm đột ngột, cho phép nó tiếp tục tham gia chịu lực cùng với khung BTCT. Các dạng phá hủy quan sát được trong thí nghiệm tương đồng với kết quả của các nghiên cứu trước đây. Mô hình "Multi-strut" kết hợp với khớp dẻo tập trung và phân tử liên kết "Gap-element" được đề xuất để phân tích Push-over, đã mô phỏng tốt ứng xử sau đàn hồi và dự đoán khả năng chịu tải ngang cực hạn của khung với TXC dưới các điều kiện biên khác nhau. Trong thiết kế và tính toán công trình khung BTCT có TXC, cần tính đến độ cứng của TXC để đánh giá đầy đủ các tình huống nguy hiểm có thể xảy ra.

Dalibor Burilo và cộng sự [3] đã dựa trên kết quả thử nghiệm một mô hình khung BTCT có tường chèn bằng gạch với tỉ lệ 1/2.5, gồm ba tầng trên bàn rung. Công trình được thử nghiệm với mòi chuyển động nền liên tiếp với gia tốc tăng dần ag/g , được ghi lại tại trạm Herzeg Novi trong trận động đất Montenegro năm 1979 với cường độ M6.9. Độ lệch tâm ngẫu nhiên, được xem là một biến ngẫu nhiên, xuất phát từ sự hư hại không đồng đều của các tường chèn gạch trong một công trình vốn dĩ là đối xứng. Tác động của nó, so với các biến ngẫu nhiên (thiết kế) khác, được đánh giá bằng các hệ số trọng số và tiếp tục được đánh giá thông qua các quy định của các bộ tiêu chuẩn xây dựng và những phát hiện nghiên cứu hiện đại. Phân tích cho thấy độ lệch tâm ngẫu nhiên, so với các biến ngẫu nhiên khác, trong một

số điều kiện nhất định có thể đạt đến các giá trị cao hơn so với quy định của các bộ tiêu chuẩn xây dựng. Độ tin cậy địa chấn không đạt yêu cầu này cảnh báo rõ ràng rằng xoắn ngẫu nhiên của khung BTCT có tường chèn bằng gạch trong điều kiện tại chỗ cần phải được xem xét ngay cả trong các công trình thông thường.

Muhammad Umar và cộng sự [4] đã chỉ ra rằng TXC giúp tăng cường độ cứng và độ bền của khung BTCT, nhưng chúng thường không được tính đến trong quá trình thiết kế. Khi tường chèn được đưa vào thiết kế, cần phải xem xét các lỗ mở cho cửa và cửa sổ. Nghiên cứu này nhằm đánh giá ảnh hưởng của các lỗ hổng (mở) trong tường chèn đối với hiệu suất của khung BTCT có tường chèn. Cụ thể, nghiên cứu xem xét số lượng tường chèn trong các khung này. Theo thực hành xây dựng hiện nay tại Pakistan, hai khung BTCT có tường chèn với tỷ lệ thực đã được xây dựng trong phòng thí nghiệm. Một khung có cửa và cửa sổ lệch tâm (mẫu thử nghiệm-1), trong khi khung kia có cửa sổ ở trung tâm tường (mẫu thử nghiệm-2). Cả hai mẫu thử nghiệm đều chịu tải chu kỳ ngược chiều (thử nghiệm giả tĩnh). Kết quả thực nghiệm cho thấy khung BTCT có tường chèn với ít lỗ mở hơn trong tường chèn thể hiện khả năng chịu tải ngang lớn hơn, tăng độ cứng và khả năng tiêu tán năng lượng cao hơn so với khung có lỗ mở lớn hơn. Ngoài ra, tính dẻo chuyên vị (μD) và Hệ số Sửa đổi Đáp ứng (R) cũng phụ thuộc vào kích thước và số lượng lỗ mở trong tường chèn của khung BTCT.

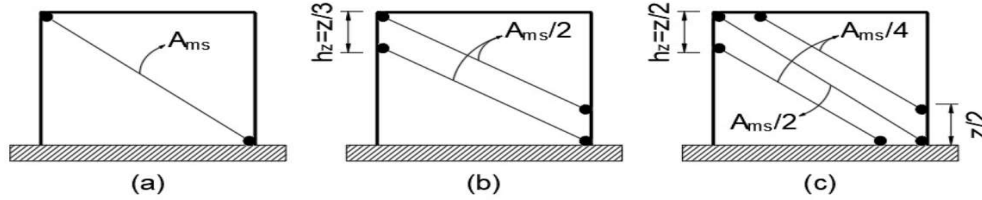
Có thể thấy rằng, sự tương tác giữa khung BTCT và TXC, như ảnh hưởng của các thông số TXC, lỗ mở đến ứng xử của kết cấu của các công trình. Tuy nhiên, chưa nhiều nghiên cứu đề cập chi tiết đến sự ảnh hưởng của tỷ lệ mở lỗ, vị trí lỗ đến nội lực và chuyển vị trong kết cấu khung BTCT. Vì vậy, mục tiêu của nghiên cứu này là điều tra ảnh hưởng của các đặc tính TXC, đặc biệt là độ dày và tỷ lệ lỗ mở, đến ứng xử của khung BTCT dưới tác động của tải trọng ngang. Thông qua mô hình phân tích số, bài báo đã cung cấp cái nhìn sâu sắc về cách các tham số này ảnh hưởng đến độ cứng, khả năng chịu tải, và hành vi biến dạng của khung BTCT. Những kết quả từ nghiên cứu này sẽ hỗ trợ tối ưu hóa thiết kế khung BTCT với TXC, nâng cao độ an toàn và hiệu quả của chúng dưới tác động của động đất và các tải trọng ngang khác.

2. Một số phương pháp mô hình hóa TXC

TXC khung được mô hình hóa như một giằng chéo theo các dải chịu nén chéo của tường xây.

Crisafulli và cs [5] đã nghiên cứu sự ảnh hưởng của khối xây chèn thông qua 3 mô hình như Hình vẽ 1. Crisafulli và cộng sự đã chỉ ra rằng mô hình thanh giằng đơn cho kết quả khá tốt khi mô phỏng ứng xử tổng thể của khung. Tuy nhiên, khi

xét đến cụ thể mô men và lực cắt thì mô hình này cho kết quả chưa chính xác, trái lại mô hình thanh giằng kép hoặc thanh giằng ba cho kết quả chính xác hơn.

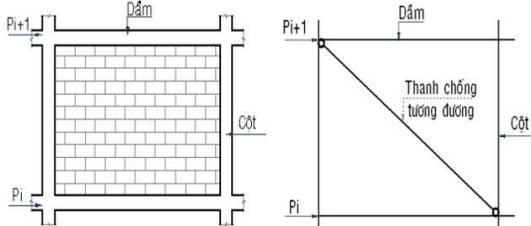


(a) Thanh giằng đơn (b) Thanh giằng kép (c) Thanh giằng ba

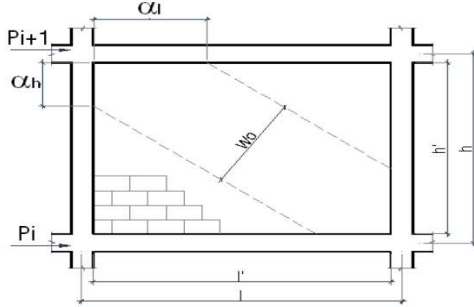
Chú thích: h_z là khoảng cách giữa các thanh giằng; z là chiều cao TXC; A_{ms} là diện tích thanh giằng quy đổi.

Hình vẽ 1. Các mô hình thanh giằng áp dụng cho khối xây chèn theo Crisafulli và cộng sự [5]

Dựa trên nghiên cứu thực nghiệm, Polyakov [6] đã đề xuất thay thế TXC trong khung bằng thanh chống tương đương có liên kết khớp ở hai đầu nối từ góc khung có điểm đặt lực đến góc đối diện, như thể hiện trong Hình vẽ 2. Tương tự, Smith [7] đề xuất bề rộng thanh chống tương đương như trong Hình vẽ 3. Bề rộng của thanh chống xiên được đề xuất xác định như phương trình (1)



Hình vẽ 2: Mô hình thanh giằng của Polyakov [6]



Hình vẽ 3: Mô hình thanh giằng của Smith [7]

$$W_0 = \sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_l^2} \quad (1)$$

Trong đó $\alpha_h = h_c$ là chiều dài đoạn tiếp xúc giữa cột và TXC; $\alpha_l = l_b$ là chiều dài đoạn tiếp xúc giữa dầm và TXC; $\alpha_h = \frac{\pi}{2\lambda_h}$; $\alpha_l = \frac{\pi}{2\lambda_l}$; $\lambda_h = \sqrt[4]{(E_w d)/(4E_f I_c h) \sin 2\theta}$; $\lambda_l = \sqrt[4]{(E_w d)/(4E_f I_b l) \sin 2\theta}$; $E_w = E_f$ là mô-đun đàn hồi của TXC; I_b, I_c là mô mne quán tính của dầm và cột; d là chiều cao làm việc; θ là góc nghiêng của thanh giằng.

Chiều rộng của thanh chống xiên ảnh hưởng lớn đến độ chính xác của mô hình, Mainstone [8] đã đề xuất bề rộng hiệu dụng như phương trình (2).

Trong khi, Kwan và Liauw [9] và Lý Trần Cường [10] đề xuất bề rộng hiệu dụng như thể hiện tương ứng trong phương trình (3) và (4).

$$W_{ds} = 0,175\sqrt{l^2 + h^2}(\lambda_h h)^{-0,4} \quad (2)$$

$$W_{ds} = 0,95h \cos \theta / \sqrt{(\lambda_h h)} \quad (3)$$

$$W_{ds} = (l_b h + h_c l) \sqrt{\sin 2\theta / 2lh} \quad (4)$$

Trong đó: l, h là chiều dài và cao của TXC; λ_h là độ mảnh của TXC; $l_b = \pi/m_b$; $h_c = 1/m_c \arctg \left[\frac{1}{3/(2m_c h) + 1} \right]$; $m_b = \sqrt[4]{k_0 b_b / 4E_0 I_b}$ là đặc trưng độ cứng dầm trên nền đàn hồi; $m_c = \sqrt[4]{k_0 b_c / 4E_0 I_c}$ là đặc trưng độ cứng của cột trên nền đàn hồi.

Bên cạnh đó, Kappos [11] đã đề xuất độ cứng của thanh chống tương đương là đường cong tuyến tính ba đoạn, trong đó giai đoạn đàn hồi độ cứng của thanh được xác định như phương trình (6). Chiều rộng và độ cứng của thanh chống tương đương được xác định như (5) và (6).

$$W_{ds} = (l_b h + h_c l) \sqrt{\sin 2\theta / 2lh} \quad (5)$$

$$k_w = 1,71 f_w (80 + h/d) \quad (6)$$

Trong đó: l_b, h_c là chiều dài dầm và chiều cao tiết diện cột; f_w là cường độ của TXC.

3. Phương pháp nghiên cứu

Để nghiên cứu ảnh hưởng của lỗ cửa trên TXC đến sự làm việc của khung BTCT, nhóm tác giả sử dụng các kết quả nghiên cứu từ thực nghiệm về các thông số cơ học của vật liệu như gạch đất sét nung, tường xây bằng gạch đất sét và vữa xi măng, bê tông và cốt thép dùng trong khung BTCT. Từ đó, dựa trên các công thức đề xuất của các tác giả đã trình bày ở mục 2 để phát triển mô hình số để đánh giá sự ảnh hưởng của lỗ cửa trên TXC đến chuyển vị ngang, độ võng và nội lực trong dầm và cột khung BTCT.

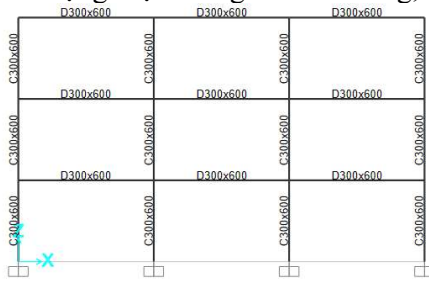
4. Bài toán nghiên cứu

Mặc dầu các nghiên cứu về ảnh hưởng của TXC đến sự làm việc của khung BTCT đã được nhiều

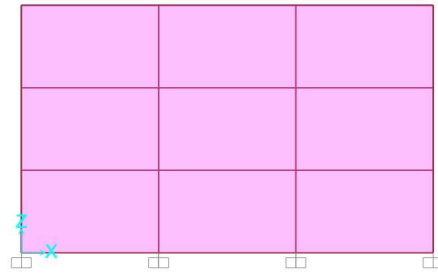
tác giả trong nước và trên thế giới nghiên cứu. Tuy nhiên, việc xét đến ảnh hưởng của khối xây bằng gạch đất sét nung theo điều kiện sản xuất ở Việt Nam và ảnh hưởng của các loại lỗ trong tường đến sự làm việc của khung BTCT khi xét đến tải trọng ngang chưa được nghiên cứu sâu. Vì vậy, mục tiêu của bài báo là nghiên cứu sự làm việc của khung BTCT (cụ thể là chuyển vị ngang và lực cắt đáy chân cột, độ võng và nội lực trong dầm) có xét đến ảnh hưởng của TXC khi có và không có lỗ cửa. Để đánh giá ảnh hưởng của khối xây chèn đến sự làm việc của khung BTCT có xét đến ảnh hưởng của việc mở lỗ trong tường, nhóm tác giả sử dụng một khung BTCT 3 tầng, 3 nhịp.

Với nhịp $L = 6m$, chiều cao tầng $h = 3,6m$. Kích thước dầm $b \times h = (300 \times 600)mm$, thép nhịp và gối dầm được bố trí $5\phi 25$. Kích thước cột $b \times h = (300 \times 600)mm$, thép cột $10\phi 25$ được bố trí theo chu vi cột. Tải trọng động đất được mô phỏng thành tĩnh lực ngang tương đương đặt tại đỉnh với giá trị $100kN$. 3 phương án tạo lỗ trong tường gồm lỗ cửa sổ (lỗ đối xứng), lỗ cửa đi (lỗ không đối xứng) và tầng mềm (tầng 1 không có tường xây).

Các phương án tạo lỗ trong tường được thể hiện ở các hình vẽ 5, 6 và 7.

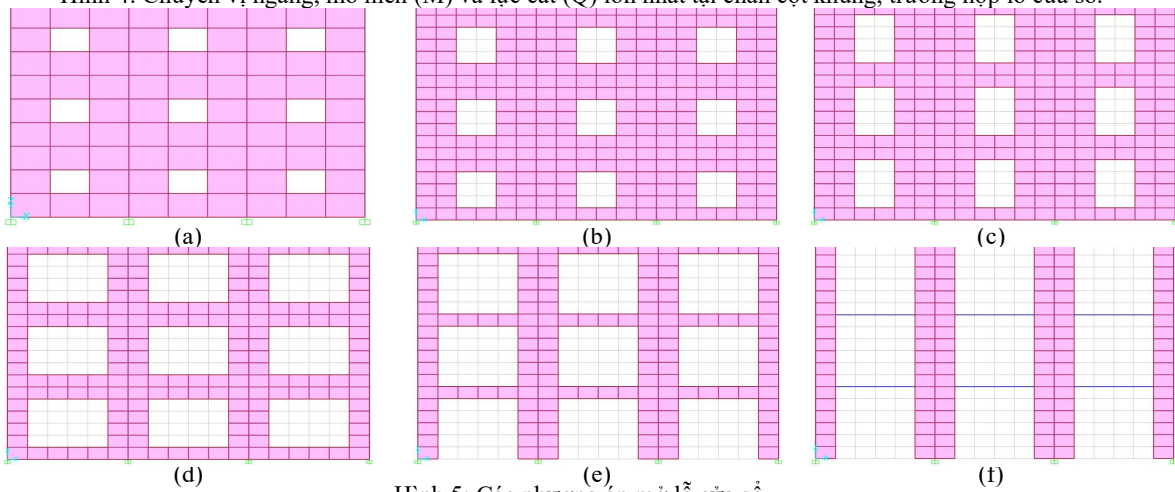


(a) Kích thước tiết diện dầm và cột khung

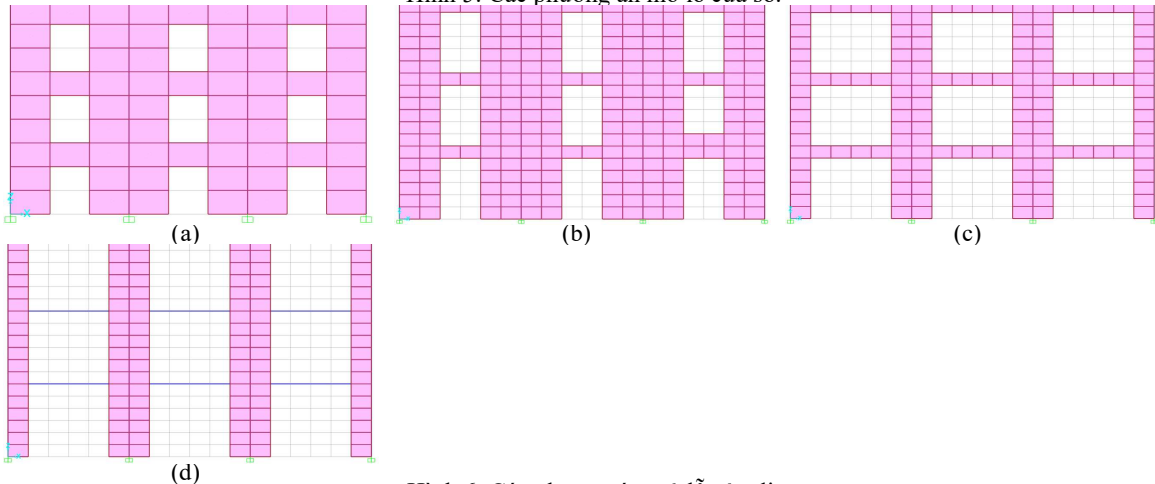


(b) Bố trí tường chèn khung

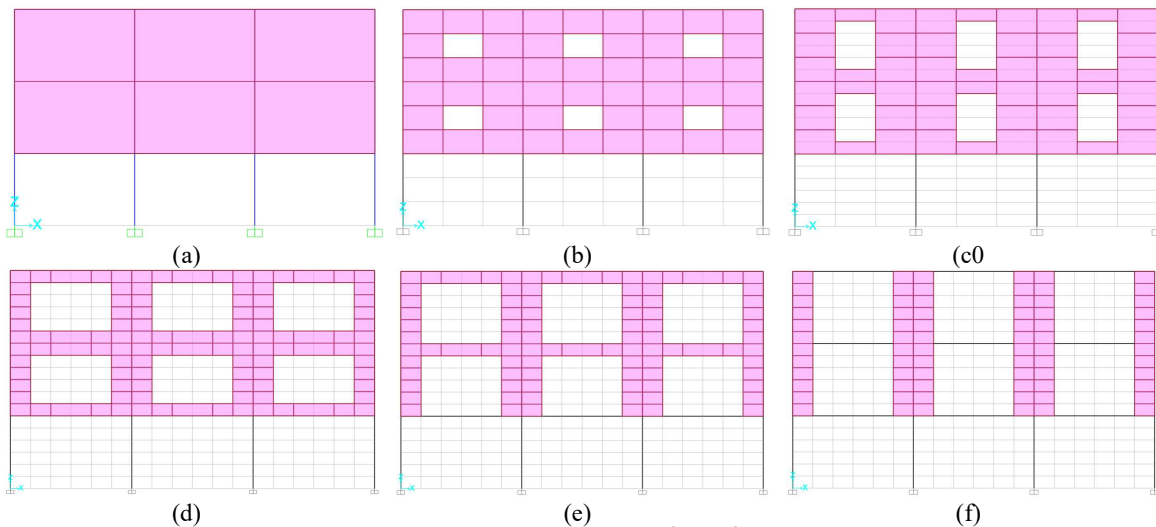
Hình 4: Chuyển vị ngang, mô men (M) và lực cắt (Q) lớn nhất tại chân cột khung, trường hợp lỗ cửa sổ.



Hình 5: Các phương án mở lỗ cửa sổ.



Hình 6: Các phương án mở lỗ cửa đi.

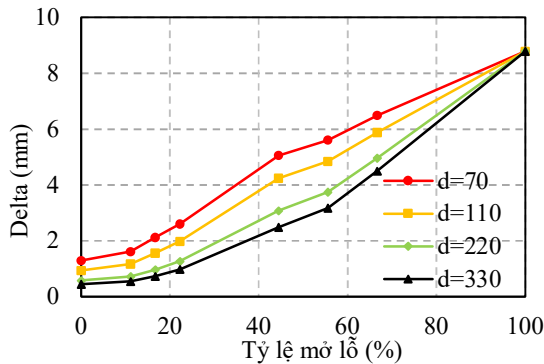


Hình 7: Các phương án tầng mềm.

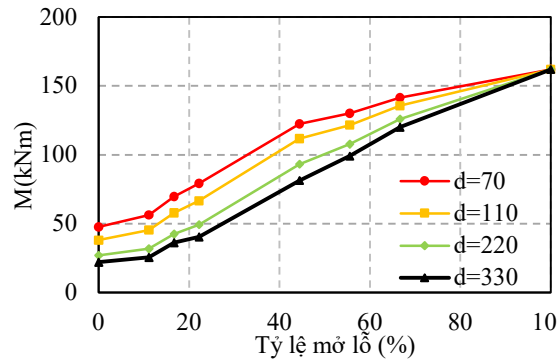
5. Thảo luận

Bài toán phân tích được thực hiện trên phần mềm Sap2000 version 22 kết hợp với các chương

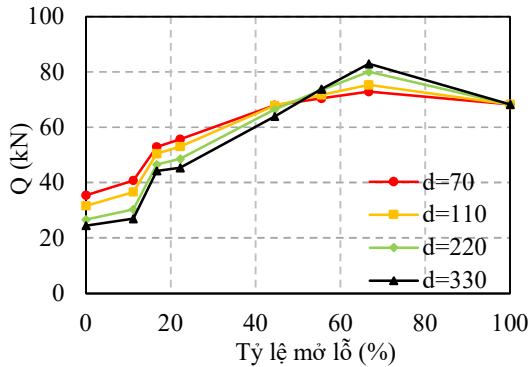
trình trên Matlab. Để thực hiện tính toán các tác giả đã giả thiết TXC làm việc đồng thời với khung BTCT, và kết cấu làm việc trong giới hạn đàn hồi.



(a) Quan hệ giữa chuyển vị ngang (Δ) và tỷ lệ mở lỗ



(b) Quan hệ giữa (M) và tỷ lệ mở lỗ



(c) Quan hệ giữa lực cắt (Q) và tỷ lệ mở lỗ

Hình 8: Chuyển vị ngang, mô men (M) và lực cắt (Q) lớn nhất tại chân cột khung, trường hợp lỗ cửa sổ.

Hình vẽ 8 thể hiện sự ảnh hưởng của tỷ lệ mở lỗ (biểu thị bằng phần trăm) đến các thông số của khung BTCT (chuyển vị ngang (Δ) hoặc độ võng (f), mô men uốn (M) và lực cắt (Q) với các chiều dày tường khác nhau $d=70$ mm, 110 mm, 220 mm, 330 mm được sử dụng phổ biến tại Việt Nam. Có thể thấy rằng:

- Chuyển vị ngang (Δ) của khung tăng lên khi

tỷ lệ mở lỗ tăng, điều này áp dụng cho tất cả các giá trị chiều dày tường chèn d .

- Tường chèn mỏng hơn ($d = 70$ mm và $d = 110$ mm) có độ chuyển vị ngang cao hơn đáng kể so với các tường dày hơn ($d = 220$ mm và $d = 330$ mm). Điều này cho thấy tường chèn mỏng ít có khả năng chống chịu với các tác động ngang hơn khi tỷ lệ mở lỗ tăng.

- Khi tỷ lệ mở lỗ tăng đến 100%, sự chênh lệch chuyển vị ngang giữa các tường có chiều dày khác nhau trở nên rõ ràng hơn, trong đó tường dày hơn ($d = 330$ mm) có chuyển vị nhỏ nhất.

- Mô men lớn nhất (M) tại chân cột khung tăng dần khi tỷ lệ mở lỗ tăng.

- Tương tự với chuyển vị ngang, các tường mỏng hơn ($d = 70$ mm và $d = 110$ mm) có mô men lớn nhất cao hơn so với tường dày hơn. Tường dày nhất ($d = 330$ mm) có mô men nhỏ nhất, cho thấy khả năng chống chịu tốt hơn đối với các tác động gây uốn.

- Mô men lớn nhất tăng đều đặn theo tỷ lệ mở lỗ, nhưng tốc độ tăng giảm dần khi tỷ lệ mở lỗ đạt tới khoảng 80%-100%.

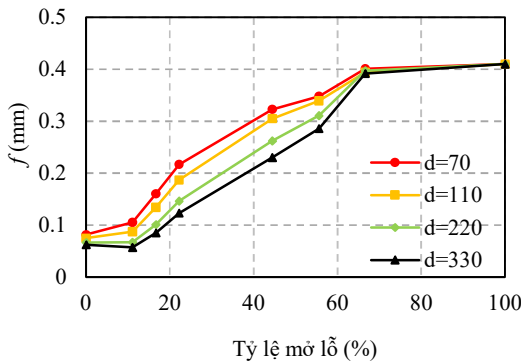
- Lực cắt lớn nhất (Q) tại chân cột khung có xu hướng tăng khi tỷ lệ mở lỗ tăng đến một giá trị nhất định (khoảng 60%), sau đó giảm nhẹ khi tỷ lệ mở lỗ tiếp tục tăng đến 100%.

- Các tường chèn mỏng hơn ($d = 70$ mm và $d = 110$ mm) thể hiện sự tăng lực cắt nhanh hơn khi tỷ lệ mở lỗ tăng từ 0% đến 60%. Tuy nhiên, khi

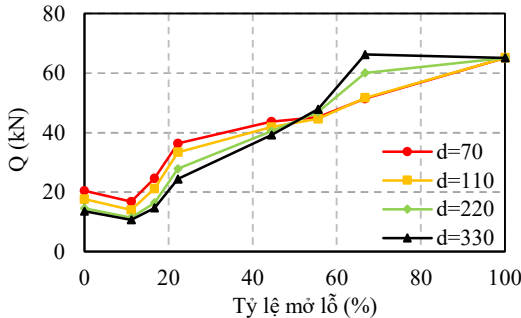
tỷ lệ mở lỗ vượt qua 60%, lực cắt bắt đầu giảm.

- Tường dày hơn ($d = 220$ mm và $d = 330$ mm) có lực cắt lớn nhất ổn định hơn khi tỷ lệ mở lỗ vượt qua 60%, chứng minh khả năng chống chịu tốt hơn đối với lực cắt.

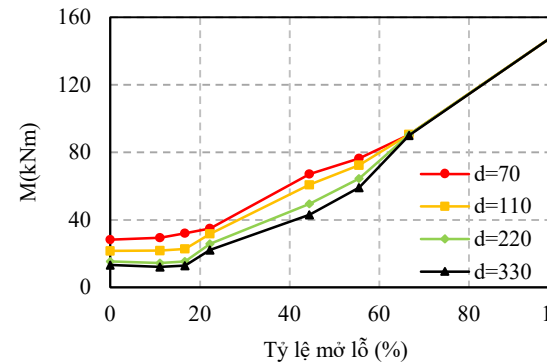
Chiều dày của tường chèn (d) ảnh hưởng mạnh mẽ đến khả năng chịu tải của khung BTCT có mở lỗ cửa sổ. Tường mỏng hơn dễ bị ảnh hưởng bởi các lỗ mở lớn, dẫn đến sự gia tăng đáng kể chuyển vị ngang và mô men uốn. Trong khi đó, tường dày hơn cung cấp khả năng chống chịu tốt hơn, giảm thiểu ảnh hưởng của lỗ mở đối với các giá trị chuyển vị, mô men, và lực cắt. Tỷ lệ mở lỗ từ 0% đến 60% ảnh hưởng mạnh nhất đến lực cắt, chuyển vị, và mô men uốn; khi vượt quá 60%, ảnh hưởng này có xu hướng giảm hoặc ổn định. Các kết quả này rất quan trọng cho thiết kế tối ưu khung BTCT có tường chèn, đặc biệt trong việc xác định chiều dày tường và tỷ lệ mở lỗ hợp lý nhằm đảm bảo an toàn và hiệu quả kết cấu.



(a) Quan hệ giữa độ võng (f) và tỷ lệ mở lỗ



(a) Quan hệ giữa Lực cắt (Q) và tỷ lệ mở lỗ



(b) Quan hệ giữa Mô men (M) và tỷ lệ mở lỗ

Hình 9: Độ võng (f), mô men (M) và lực cắt (Q) lớn nhất dầm khung, trường hợp lỗ cửa sổ.

Từ hình vẽ 9 có thể thấy được mối quan hệ giữa f , M và Q của dầm khung với tỷ lệ mở lỗ.

- Độ võng của dầm (f) tăng dần theo tỷ lệ mở lỗ (%). Điều này áp dụng cho tất cả các giá trị chiều dày tường chèn (d).

- Các tường chèn mỏng hơn ($d = 70$ mm và $d = 110$ mm) có độ võng lớn hơn đáng kể so với các

tường dày hơn ($d = 220$ mm và $d = 330$ mm). Tường chèn dày hơn cho thấy khả năng chống chịu tốt hơn với các tải trọng tác động lên dầm.

- Khi tỷ lệ mở lỗ đạt tới 100%, sự khác biệt về độ võng giữa các tường dày ($d = 220$ mm và $d = 330$ mm) và mỏng trở nên rõ rệt hơn. Độ võng lớn nhất quan sát được ở tường mỏng nhất ($d =$

70 mm).

- Mô men lớn nhất (M) tại dầm khung tăng lên khi tỷ lệ mở lỗ tăng. Đường cong của mô men tăng đều đặn từ tỷ lệ mở lỗ 0% đến 100%.

- Các tường mỏng hơn ($d = 70$ mm và $d = 110$ mm) có mô men cao hơn so với các tường dày hơn ($d = 220$ mm và $d = 330$ mm). Điều này cho thấy tường chèn dày hơn có khả năng chống chịu tốt hơn trước tác động của các tải trọng gây uốn.

- Đối với tất cả các giá trị của d , mô men tăng nhanh nhất khi tỷ lệ mở lỗ tăng từ 0% đến 60%, và sau đó ổn định hoặc tăng nhẹ.

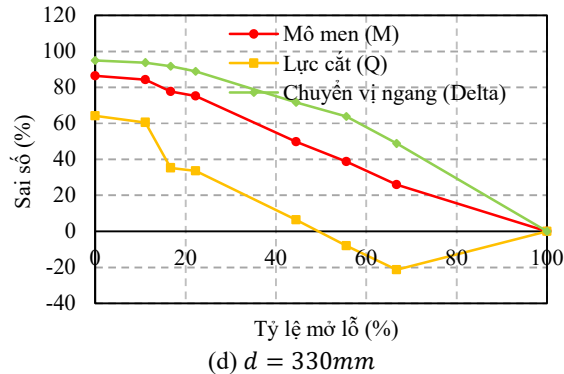
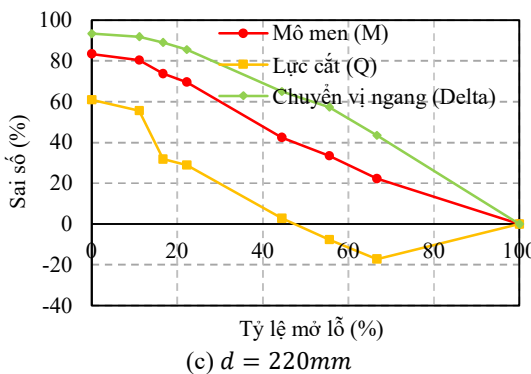
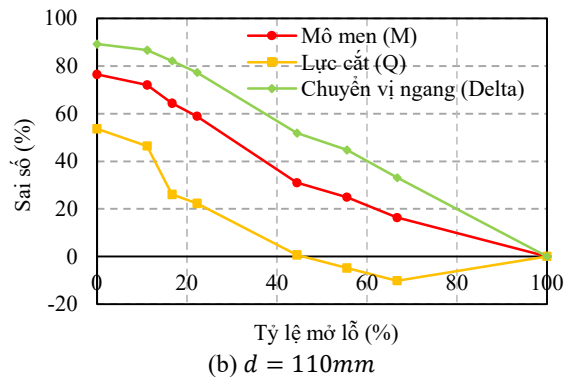
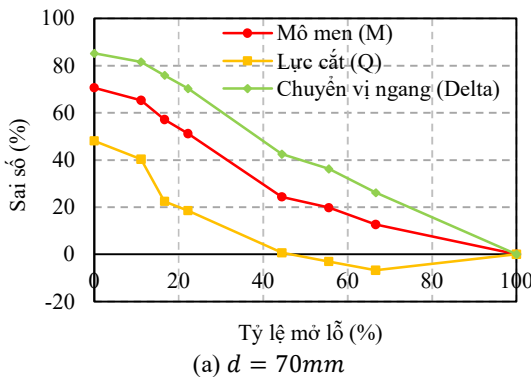
- Lực cắt lớn nhất (Q) tại dầm khung tăng dần khi tỷ lệ mở lỗ tăng. Điều này cũng áp dụng cho tất cả các giá trị của d .

- Các tường chèn mỏng hơn ($d = 70$ mm và $d = 110$ mm) cho thấy lực cắt tăng nhanh hơn so với các tường dày hơn ($d = 220$ mm và $d = 330$ mm).

Lực cắt lớn nhất đạt được khi tỷ lệ mở lỗ nằm trong khoảng từ 60% đến 80%, sau đó giảm nhẹ hoặc ổn định.

- Tường chèn dày hơn cho thấy sự ổn định hơn trong lực cắt khi tỷ lệ mở lỗ tăng đến 100%.

Như vậy có thể thấy rằng chiều dày của tường chèn (d) ảnh hưởng rõ rệt đến độ võng, mô men, và lực cắt tại dầm khung trong trường hợp mở lỗ cửa sổ. Tường mỏng hơn dẫn đến độ võng, mô men, và lực cắt lớn hơn, cho thấy độ cứng của khung bị giảm đáng kể. Tỷ lệ mở lỗ từ 0% đến 60% có ảnh hưởng lớn nhất đến các thông số kết cấu; khi vượt quá 60%, mức độ ảnh hưởng có xu hướng giảm. Các kết quả này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc lựa chọn chiều dày tường chèn và tỷ lệ mở lỗ hợp lý để đảm bảo an toàn và hiệu quả của hệ thống kết cấu.



Hình 10: Quan hệ giữa sai số (%) và tỷ lệ mở lỗ

Hình vẽ 10 thể hiện mối quan hệ giữa sai số (%) và tỷ lệ mở lỗ (%) cho mô men (M), lực cắt (Q) và chuyển vị ngang (Δ).

TXC với $d = 70$ mm:

- Mô men (M): Sai số giảm dần từ khoảng 85% khi tỷ lệ mở lỗ là 0% xuống còn khoảng 0% khi tỷ lệ mở lỗ đạt 100%. Sai số giảm đều, cho thấy sự cải thiện độ chính xác khi tỷ lệ mở lỗ tăng.

- Lực cắt (Q): Sai số bắt đầu ở mức cao (khoảng 80%) và giảm mạnh xuống gần -20% khi tỷ lệ mở lỗ đạt 60%, sau đó ổn định gần mức 0% khi tỷ lệ mở lỗ là 100%.

- Chuyển vị (Δ): Sai số giảm dần từ khoảng 90% đến 0% khi tỷ lệ mở lỗ tăng từ 0% đến 100%. Chuyển vị giảm dần đều, tương tự như mô men.

TXC với $d = 110$ mm:

- Mô men (M): Sai số bắt đầu ở mức 80% và giảm đều xuống gần 0% khi tỷ lệ mở lỗ đạt 100%.

- Lực cắt (Q): Sai số khởi đầu ở mức 70% và giảm nhanh xuống khoảng -20% khi tỷ lệ mở lỗ là 60%, sau đó ổn định hơn so với trường hợp $d = 70$ mm.

- Chuyển vị (Delta): Sai số giảm dần từ khoảng 85% đến 0% khi tỷ lệ mở lỗ tăng, cho thấy xu

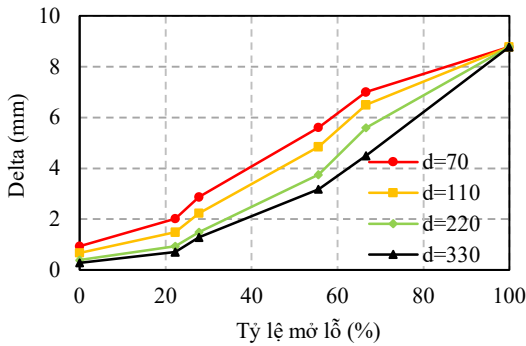
hướng tương tự như mô men và lực cắt.

TXC với $d = 220$ mm:

- Mô men (M): Sai số ban đầu khoảng 70% và giảm đều xuống 0% khi tỷ lệ mở lỗ đạt 100%.
- Lực cắt (Q): Sai số bắt đầu ở mức 60% và giảm nhanh xuống khoảng -40% khi tỷ lệ mở lỗ đạt 60%, sau đó ổn định gần mức 0%.
- Chuyển vị (Delta): Sai số giảm từ khoảng 75% xuống 0%, cho thấy xu hướng giảm đều theo tỷ lệ mở lỗ.

TXC với $d = 330$ mm:

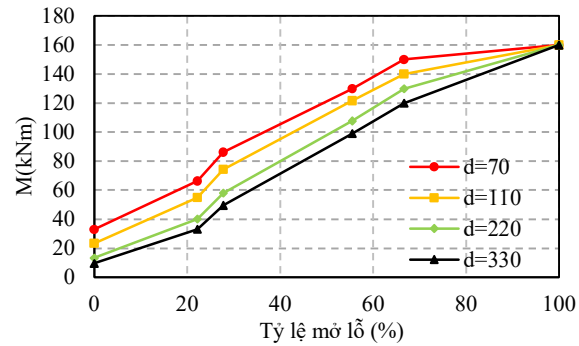
- Mô men (M): Sai số khởi đầu ở mức 60% và giảm đều xuống 0% khi tỷ lệ mở lỗ đạt 100%.
- Lực cắt (Q): Sai số bắt đầu khoảng 50% và giảm xuống gần -40% khi tỷ lệ mở lỗ đạt 60%, sau đó ổn định ở mức gần 0%.
- Chuyển vị (Delta): Sai số giảm từ khoảng 65%



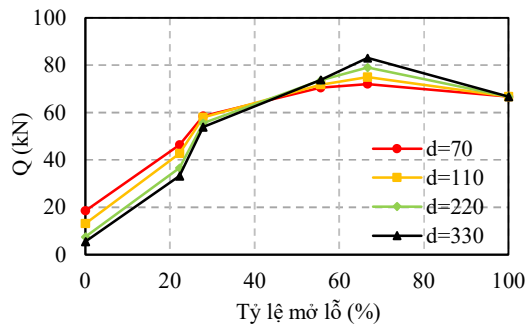
(a) Quan hệ giữa Chuyển vị ngang (Δ) và tỷ lệ mở lỗ

xuống 0%, tương tự như các biểu đồ khác.

Như vậy có thể thấy rằng, sai số của các thông số kết cấu (mô men, lực cắt, chuyển vị) giảm dần khi tỷ lệ mở lỗ tăng, điều này cho thấy các mô hình và phương pháp tính toán trở nên chính xác hơn khi có thêm các thông tin về tỷ lệ mở lỗ. Đối với tất cả các giá trị chiều dày tường chèn (d), sai số giảm nhanh nhất khi tỷ lệ mở lỗ tăng từ 0% đến 60%, sau đó giảm chậm lại hoặc ổn định. Nguyên nhân do lúc này tỷ lệ mở lỗ lớn nên ảnh hưởng của TXC đến sự làm việc của khung không đáng kể. Các sai số lớn hơn ở các trường hợp tường mỏng hơn ($d = 70$ mm và $d = 110$ mm) so với các trường hợp tường dày hơn ($d = 220$ mm và $d = 330$ mm), cho thấy độ ổn định và độ chính xác cao hơn với tường dày hơn khi tính toán các thông số kết cấu.



(b) Quan hệ giữa Mô men (M) và tỷ lệ mở lỗ



(c) Quan hệ giữa Lực cắt (Q) và tỷ lệ mở lỗ

Hình 11: Chuyển vị ngang (Δ), mô men (M) và lực cắt (Q) lớn nhất tại chân cột khung, trường hợp lỗ cửa đi.

Biểu đồ trên gồm ba phần (a), (b), và (c) thể hiện mối quan hệ giữa ba thông số chính: chuyển vị ngang (Δ), mô men (M), và lực cắt (Q) với tỷ lệ mở lỗ (%) trong khung tường có cửa đi, cho bốn giá trị độ dày của tường (d): 70, 110, 220, và 330 mm.

Hình vẽ 11(a) thể hiện mối quan hệ giữa chuyển vị ngang (Δ) và tỷ lệ mở lỗ (%):

- Đồ thị cho thấy chuyển vị ngang (Δ) của khung tăng dần khi tỷ lệ mở lỗ (%) tăng lên.
- Độ chuyển vị này tăng rõ rệt hơn khi tỷ lệ mở lỗ đạt từ 40% đến 100%.

Hình vẽ 11(b) thể hiện mối quan hệ giữa Mô men (M) và tỷ lệ mở lỗ (%):

- Mô men (M) trong khung cũng tăng khi tỷ lệ mở lỗ (%) tăng lên.
- Tuy nhiên, sự gia tăng mô men có xu hướng tuyến tính hơn so với chuyển vị ngang.

- Đối với tường dày hơn ($d=330$ mm), sự gia tăng mô men ít hơn so với các tường mỏng hơn, cho thấy khả năng chịu lực của tường dày cao hơn khi có mở lỗ.

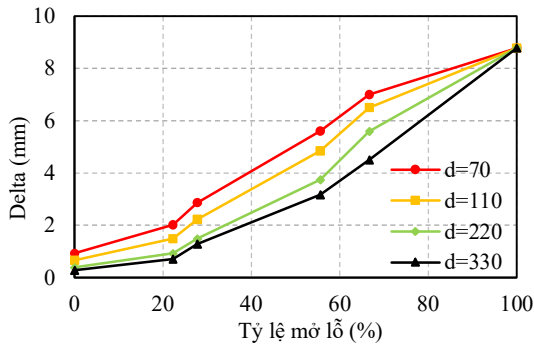
Hình vẽ 11(c) thể hiện mối quan hệ giữa Mô men (M) và tỷ lệ mở lỗ (%):

- Đối với lực cắt (Q), có sự gia tăng nhanh chóng khi tỷ lệ mở lỗ (%) tăng từ 0% đến khoảng 60%, sau đó đạt cực đại và có xu hướng giảm nhẹ khi tỷ lệ mở lỗ tiếp tục tăng lên đến 100%.

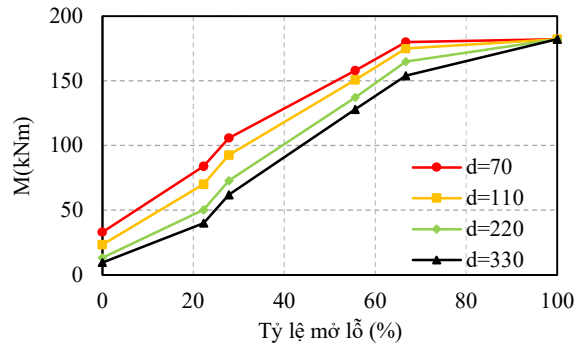
-Đối với tường dày hơn ($d=330$ mm), lực cắt cao hơn đáng kể so với các tường mỏng hơn, chỉ ra rằng tường dày có khả năng chịu lực cắt tốt hơn.

-Sự giảm nhẹ của lực cắt khi tỷ lệ mở lỗ lớn có thể do sự thay đổi trong phân bố ứng suất và biến dạng của khung.

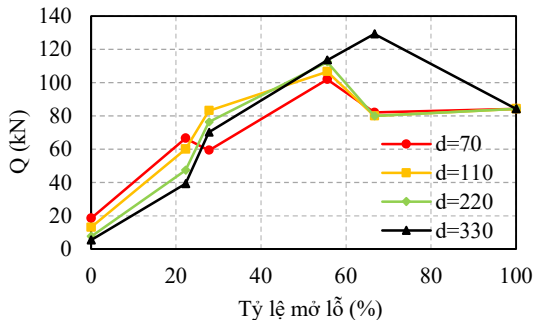
Như vậy có thể thấy, độ dày của tường và tỷ lệ mở lỗ trong khung tường có ảnh hưởng lớn đến chuyển vị ngang, mô men, và lực cắt trong kết cấu xây dựng. Tường dày hơn và tỷ lệ mở lỗ thấp hơn làm giảm sự biến dạng và tăng khả năng chịu lực, trong khi tường mỏng hơn dễ bị biến dạng hơn và có khả năng chịu lực kém hơn khi tỷ lệ mở lỗ cao. Điều này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc lựa chọn độ dày tường và kích thước mở lỗ phù hợp trong thiết kế kết cấu xây dựng.



(a) Quan hệ giữa độ võng (f) và tỷ lệ mở lỗ



(b) Quan hệ giữa Mô men (M) và tỷ lệ mở lỗ



(a) Quan hệ giữa Lực cắt (Q) và tỷ lệ mở lỗ

Hình 12: Độ võng (f), mô men (M) và lực cắt (Q) lớn nhất trong dầm khung, trường hợp lỗ cửa đi.

Hình vẽ 12 thể hiện sự liên quan giữa các đại lượng khác nhau f , M , Q và tỷ lệ mở lỗ (với các chiều dày tường $d=70$ mm, 110 mm, 220 mm, và 330 mm).

Quan hệ giữa độ võng (f) và tỷ lệ mở lỗ:

- Xu hướng chung: Độ võng tăng dần theo tỷ lệ mở lỗ tăng, thể hiện rằng khi tỷ lệ mở lỗ tăng thì khả năng chịu uốn của dầm bị suy giảm.

- So sánh giữa các giá trị d : Với d nhỏ hơn ($d=70$ mm), độ võng lớn hơn so với d lớn hơn ($d=330$ mm) ở cùng một tỷ lệ mở lỗ. Điều này cho thấy rằng khi dày độ d tăng, kết cấu trở nên cứng cáp hơn và ít bị biến dạng.

Quan hệ giữa M và tỷ lệ mở lỗ.

- Xu hướng chung: Mô men cũng tăng dần theo tỷ lệ mở lỗ, cho thấy khả năng chịu lực của kết cấu thay đổi đáng kể khi tỷ lệ mở lỗ thay đổi.

- So sánh giữa các giá trị d : Tương tự như độ võng, khi dày độ d nhỏ ($d=70$ mm), mô men lớn hơn so với dày độ d lớn hơn ($d=330$ mm). Điều này khẳng định kết cấu dày hơn sẽ cứng hơn, chịu mô men tốt hơn.

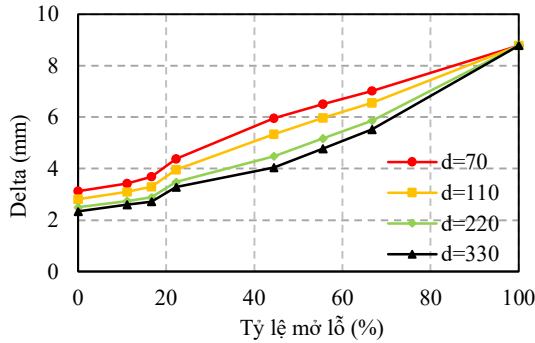
Quan hệ giữa Q và tỷ lệ mở lỗ.

-Xu hướng chung: Lực cắt ban đầu tăng với tỷ lệ mở lỗ cho đến khoảng 60%, sau đó giảm dần. Điều này có thể cho thấy sự mất ổn định hoặc hư hại trong kết cấu khi tỷ lệ mở lỗ vượt quá 60%.

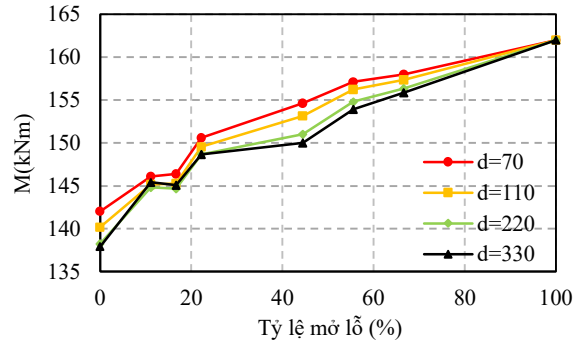
- So sánh giữa các giá trị d : Giá trị lực cắt cao nhất đối với $d = 330$ mm, sau đó là $d = 220$ mm, $d = 110$ mm, và $d = 70$ mm. Điều này cho thấy

kết cấu với dày độ d lớn hơn có khả năng chịu lực cắt tốt hơn.

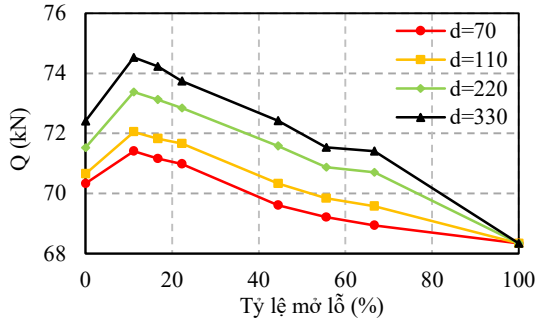
Như vậy có thể thấy, tăng tỷ lệ mở lỗ làm tăng độ võng và mô men nhưng có thể làm giảm khả năng chịu lực cắt của dầm khi vượt quá một ngưỡng nhất định. Dày độ d lớn hơn giúp kết cấu chịu lực tốt hơn, giảm độ võng, mô men và lực cắt hiệu quả hơn.



(a) Quan hệ giữa Chuyển vị ngang Delta (Δ) và tỷ lệ mở lỗ



(b) Quan hệ giữa Mô men (M) và tỷ lệ mở lỗ



(c) Quan hệ giữa Lực cắt (Q) và tỷ lệ mở lỗ

Hình 13: Chuyển vị ngang (δ), mô men (M) và lực cắt (Q) lớn nhất tại chân cột khung, trường hợp tầng mềm.

Hình 13 mô tả mối quan hệ giữa chuyển vị ngang (Δ), mô men (M), và lực cắt (Q) với tỷ lệ mở lỗ trong cột khung cho trường hợp tầng mềm, với các giá trị khác nhau của chiều dày tường ($d = 70, 110, 220, 330$ mm).

Quan hệ giữa Chuyển vị ngang (Δ) và tỷ lệ mở lỗ.

- Chuyển vị ngang (δ) tăng khi tỷ lệ mở lỗ tăng, bất kể chiều dày tường (d).

- Chuyển vị lớn nhất được quan sát khi tường có chiều dày nhỏ nhất ($d = 70$ mm), cho thấy rằng tường mỏng hơn kém khả năng chịu lực hơn.

- Khi chiều dày tường tăng, mức độ gia tăng của chuyển vị ngang giảm đi, chứng tỏ rằng tường dày hơn có khả năng giảm sự biến dạng do lực tác động lên cột khung.

Quan hệ giữa Mô men (M) và tỷ lệ mở lỗ.

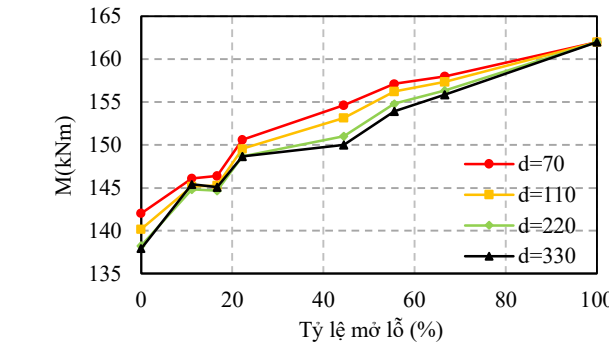
- Mô men (M) tăng khi tỷ lệ mở lỗ tăng, với mô men lớn nhất xảy ra ở tỷ lệ mở lỗ cao nhất.

- Ở mọi giá trị dày tường (d), mô men có xu hướng tăng tuyến tính với tỷ lệ mở lỗ.

- Tường dày hơn ($d = 220$ mm và $d = 330$ mm) duy trì khả năng chịu mô men tốt hơn so với các tường mỏng hơn, nhưng sự khác biệt không quá lớn.

Quan hệ giữa Lực cắt (Q) và tỷ lệ mở lỗ.

năng chịu lực cắt của dầm khi vượt quá một ngưỡng nhất định. Dày độ d lớn hơn giúp kết cấu chịu lực tốt hơn, giảm độ võng, mô men và lực cắt hiệu quả hơn.



(b) Quan hệ giữa Mô men (M) và tỷ lệ mở lỗ

Hình 13: Chuyển vị ngang (δ), mô men (M) và lực cắt (Q) lớn nhất tại chân cột khung, trường hợp tầng mềm.

- Lực cắt (Q) giảm dần khi tỷ lệ mở lỗ tăng, ngoại trừ một số trường hợp đặc biệt.

- Đường biểu diễn cho thấy sự giảm dần của lực cắt rõ rệt nhất ở tường có chiều dày nhỏ ($d = 70$ mm).

- Điều này chứng tỏ rằng khi tỷ lệ mở lỗ tăng, khả năng chịu lực cắt của cột khung giảm đi, đặc biệt là với các tường có chiều dày nhỏ.

Có thể thấy rằng, sự ảnh hưởng của tỷ lệ mở lỗ và chiều dày tường lên chuyển vị ngang, mô men, và lực cắt tại chân cột khung trong trường hợp tầng mềm. Tường có chiều dày lớn hơn cải thiện đáng kể khả năng chịu lực, giúp giảm chuyển vị ngang và duy trì mô men và lực cắt ở mức độ ổn định hơn. Các kết quả này rất hữu ích trong việc thiết kế và tối ưu hóa kết cấu cột khung để đảm bảo an toàn và hiệu quả.

Hình 14 cho thấy mối quan hệ giữa độ võng (f), mô men (M), và lực cắt (Q) liên quan đến tỷ lệ mở lỗ trên tường trong kết cấu khung có tầng mềm.

Độ võng (f) so với tỷ lệ mở lỗ trên tường:

- Khi tỷ lệ mở lỗ trên tường tăng, độ võng (f) cũng tăng đối với tất cả các độ dày tường ($d = 70, 110, 220, 330$ mm). Xu hướng này đồng

nhất ở các giá trị độ dày tường khác nhau, cho thấy rằng các lỗ mở lớn hơn dẫn đến độ võng lớn hơn, bất kể độ dày tường.

- Tốc độ gia tăng độ võng tương đối đồng đều cho đến khi tỷ lệ mở lỗ đạt khoảng 60%. Vượt qua điểm này, tốc độ tăng của độ võng trở nên đáng kể hơn, đặc biệt đối với tường có độ dày $d = 70$ mm và $d = 330$ mm.

Mô men (M) so với tỷ lệ mở lỗ trên tường:

- Mô men (M) cho thấy sự gia tăng vừa phải với tỷ lệ mở lỗ trên tường cho tất cả các độ dày. Đến 40% tỷ lệ mở lỗ, các đường cong cho tất cả các độ dày gần như chồng lên nhau, cho thấy phản ứng mô men tương tự.

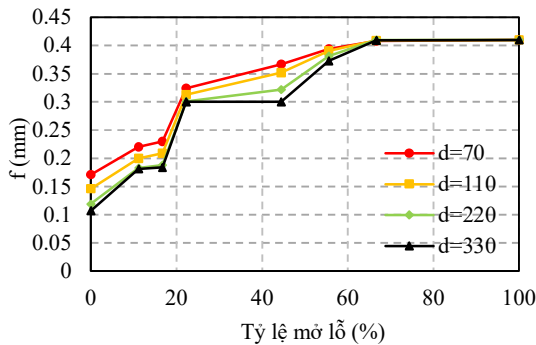
- Với các tỷ lệ mở lỗ lớn hơn (trên 60%), các mô men bắt đầu tách biệt nhẹ, với tường có độ

dày $d = 70$ mm cho thấy mức tăng lớn hơn so với các loại khác. Điều này ngụ ý rằng các bức tường mỏng hơn có thể chịu mô men cao hơn khi bị tác động bởi các lỗ mở lớn.

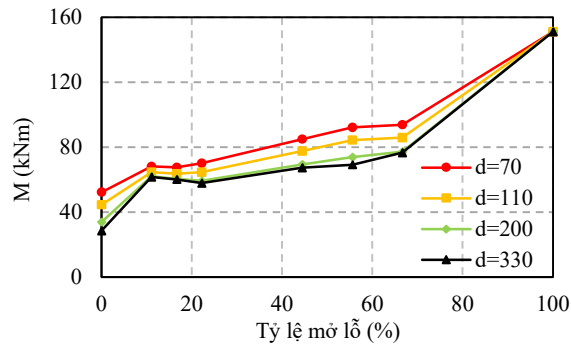
Lực cắt (Q) so với tỷ lệ mở lỗ trên tường:

- Lực cắt (Q) ban đầu tăng lên khi tỷ lệ mở lỗ tăng đến khoảng 40%, sau đó có xu hướng ổn định hoặc giảm nhẹ.

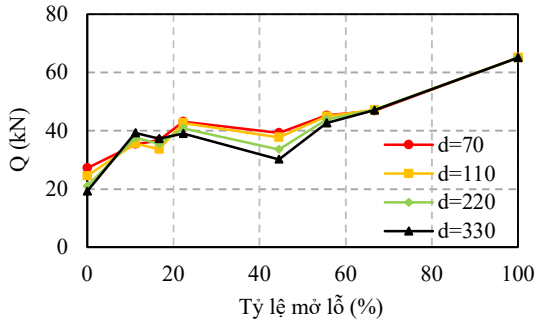
- Đối với các bức tường có độ dày lớn hơn ($d = 220$ mm và $d = 330$ mm), lực cắt đạt đỉnh sớm hơn so với tường mỏng hơn ($d = 70$ mm và $d = 110$ mm), cho thấy rằng các bức tường dày hơn có khả năng chịu lực cắt tốt hơn đến một tỷ lệ mở lỗ nhất định. Sau đó, hiệu quả dường như giảm đi.



(a) Quan hệ giữa độ võng (f) và tỷ lệ mở lỗ



(b) Quan hệ giữa Mô men (M) và tỷ lệ mở lỗ



(a) Quan hệ giữa Lực cắt (Q) và tỷ lệ mở lỗ

Hình 14: f , M , và Q lớn nhất trong dầm khung, trường hợp tầng mềm.

Có thể thấy rằng, tăng tỷ lệ mở lỗ trên tường ảnh hưởng đáng kể đến phản ứng kết cấu về mặt độ võng, mô men, và lực cắt. Các tường có độ dày khác nhau phản ứng khác nhau, với tường mỏng hơn thường cho thấy độ võng lớn hơn và mô men cao hơn. Đối với các kết cấu có lỗ mở lớn, cần chú ý đến việc lựa chọn độ dày tường để cân bằng giữa tính linh hoạt và độ bền. Tường có độ dày trung bình (ví dụ, $d = 110$ mm và $d = 220$ mm) dường như cung cấp hiệu suất cân bằng hơn giữa độ võng, mô men và lực cắt, đặc biệt trong các kịch bản với lỗ mở vừa phải trên tường.

Hình 15 thể hiện sự so sánh về chuyển vị ngang Δ và lực cắt tại chân cột Q cho các trường hợp

khác nhau: lỗ đối xứng và không đối xứng, cũng như tầng mềm, qua tỷ lệ mở lỗ và độ dày tường khác nhau. Hình 15 (a) và (c) Quan hệ giữa chuyển vị ngang (Δ) và tỷ lệ mở lỗ (%). Có thể thấy rằng:

- Chuyển vị ngang (δ) tăng theo tỷ lệ mở lỗ, và sự gia tăng này rõ rệt hơn trong trường hợp lỗ không đối xứng so với lỗ đối xứng. Điều này có thể là do sự phân bố không đồng đều của tải trọng và độ cứng của hệ thống trong trường hợp lỗ không đối xứng.

- Trong trường hợp tầng mềm, chuyển vị ngang cũng tăng dần theo tỷ lệ mở lỗ, nhưng có một số

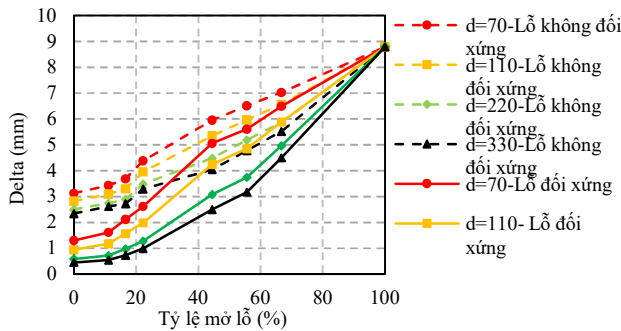
điểm vượt trội hơn (các đường biểu diễn cho trường hợp dày tường lớn hơn - $d=330$).

Hình 15 (b) và (d) thể hiện quan hệ giữa lực cắt (Q) và tỷ lệ mở lỗ (%). Có thể nhận xét như sau:

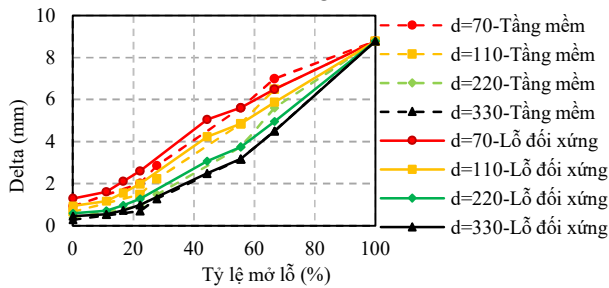
- Lực cắt (Q) tại chân cột cho thấy sự thay đổi khác nhau giữa lỗ đối xứng và không đối xứng. Đối với lỗ không đối xứng, lực cắt tại chân cột có xu hướng giảm nhẹ khi tỷ lệ mở lỗ tăng. Ngược lại, đối với lỗ đối xứng, lực cắt có xu hướng duy trì ổn định hoặc tăng nhẹ.

- Tầng mềm cũng có xu hướng tương tự, nhưng với sự biến đổi rõ hơn giữa các độ dày tường khác nhau, cho thấy tính chất của tầng mềm có ảnh hưởng mạnh đến sự phân bố lực cắt trong cột.

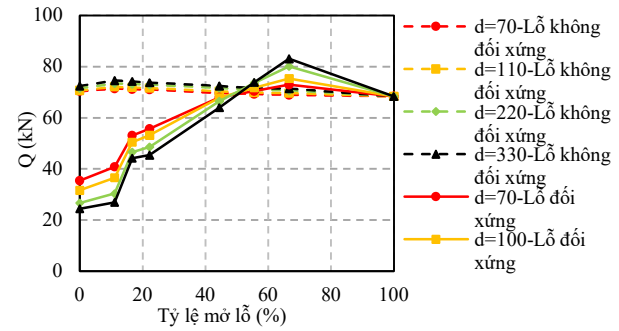
Như vậy có thể thấy rằng, chuyển vị ngang chịu ảnh hưởng lớn bởi tỷ lệ mở lỗ, và mức độ đối xứng của lỗ mở có tác động đáng kể đến độ cứng và biến dạng của hệ thống. Lực cắt tại chân cột có sự thay đổi tùy thuộc vào cấu hình của hệ thống (lỗ đối xứng hay không đối xứng) và điều kiện của tầng (tầng mềm hay không). Độ dày tường (d) ảnh hưởng rõ rệt đến cả chuyển vị ngang và lực cắt, đặc biệt trong các trường hợp lỗ không đối xứng và tầng mềm, cho thấy sự cần thiết phải lựa chọn hợp lý cấu hình lỗ và độ dày tường để đảm bảo hiệu suất tối ưu và an toàn của công trình.



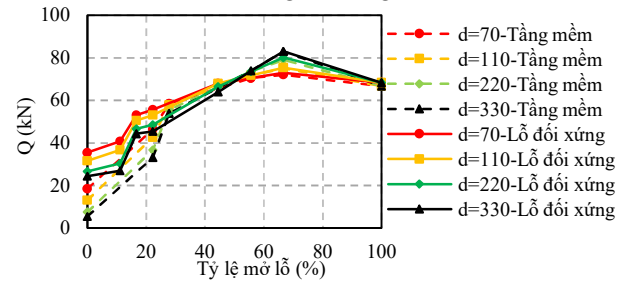
(a) So sánh Δ cho 2 trường hợp lỗ đối xứng và không đối xứng



(c) So sánh Δ cho 2 trường hợp lỗ đối xứng và tầng mềm



(b) So sánh Q tại chân cột cho 2 trường hợp lỗ đối xứng và không đối xứng



(d) So sánh Q tại chân cột cho 2 trường hợp lỗ đối xứng và tầng mềm

Hình 15: So sánh chuyển vị ngang Δ , mô men M và lực cắt Q cho các trường hợp.

Kết luận

Bài báo đã cung cấp cái nhìn sâu sắc về ảnh hưởng của TXC đến sự làm việc của khung BTCT khi có các lỗ mở trên tường. Qua các phân tích đã thực hiện, rõ ràng rằng các yếu tố như chiều dày tường, tỷ lệ mở lỗ, và sự đối xứng của lỗ mở có tác động đáng kể đến ứng xử của kết cấu của khung. Dựa trên các phân tích về sự ảnh hưởng của tỷ lệ mở lỗ đến chuyển vị ngang, mô-men uốn và lực cắt của khung BTCT với các chiều dày tường khác nhau, ta có thể rút ra kết luận như sau:

1. Chiều dày tường chèn ảnh hưởng mạnh mẽ đến khả năng chịu lực và độ cứng của khung BTCT: Tường dày hơn ($d = 330$ mm) giúp tăng

cường khả năng chống biến dạng, giảm chuyển vị ngang và duy trì mô-men uốn cũng như lực cắt cao hơn so với tường mỏng hơn ($d = 70$ mm). Điều này đặc biệt rõ rệt khi tỷ lệ mở lỗ tăng.

2. Tỷ lệ mở lỗ ảnh hưởng đáng kể đến các thông số kết cấu:

- Chuyển vị ngang: Tăng lên khi tỷ lệ mở lỗ tăng, đặc biệt là đối với các tường mỏng. Tường dày hơn có chuyển vị nhỏ hơn, giúp cải thiện độ cứng của khung.

- Mô-men uốn: Cũng tăng khi tỷ lệ mở lỗ tăng, cho thấy sự gia tăng tải trọng uốn lên khung. Tường dày hơn có khả năng chịu mô-men uốn tốt hơn, duy trì độ bền ổn định khi có sự hiện diện của các lỗ mở.

- Lực cắt: Thường giảm khi tỷ lệ mở lỗ tăng, do diện tích chịu lực giảm. Tuy nhiên, tường dày hơn vẫn duy trì khả năng chống chịu lực cắt tốt hơn.

3. Ảnh hưởng của tỷ lệ mở lỗ thay đổi theo độ dày tường chèn: Đối với các tường mỏng, tỷ lệ mở lỗ từ 0% đến 60% gây ra sự thay đổi lớn nhất đối với các thông số kết cấu, trong khi vượt qua 60%, mức độ ảnh hưởng giảm hoặc ổn định hơn.

4. Lựa chọn chiều dày tường chèn và tỷ lệ mở lỗ phù hợp là yếu tố quan trọng trong thiết kế khung BTCT: Để đảm bảo an toàn và hiệu quả kết cấu, cần cân nhắc kỹ lưỡng các yếu tố này. Tường dày hơn có ưu thế trong việc duy trì khả năng chịu lực và độ cứng của khung khi có các yêu cầu về mở lỗ, trong khi tường mỏng dễ bị ảnh hưởng hơn bởi các thay đổi trong tỷ lệ mở lỗ.

Từ các phân tích trên, có thể kết luận rằng việc lựa chọn chiều dày tường hợp lý và bố trí lỗ mở đối xứng là những yếu tố quan trọng trong thiết kế các công trình sử dụng khung BTCT có TXC, đặc biệt ở những khu vực có nguy cơ địa chấn cao. Các kết quả này không chỉ góp phần làm sáng tỏ những ảnh hưởng của tường chèn đến kết cấu mà còn đưa ra các hướng dẫn quan trọng cho việc thiết kế và tối ưu hóa công trình xây dựng.

Tài liệu tham khảo

- [1] Huệ PV. Ảnh hưởng của tường chèn tới việc kiểm soát cơ cấu phá hoại khung bê tông cốt thép chịu động đất. Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng - ĐHXD 2019;13:58–72. [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(4V\)-06](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(4V)-06).
- [2] Lê Khánh Quốc Đ. Ứng xử của khung phẳng bê tông cốt thép có tường xây chèn dưới tác động của tải trọng ngang. Đại Học Bách Khoa - Đại Học Quốc Gia TP HCM, 2017.
- [3] Burilo D, Markulak D, Dokšanović T, Penava D. Reliability Assessment of Masonry Infilled RC Frame Building's Earthquake Performance through Accidental Torsion Consideration. Civ Eng J 2023;9:483–96. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-02-017>.
- [4] Umar M, Ali Shah SA, Shahzada K, Naqash MT, Ali W. Assessment of Seismic Capacity for Reinforced Concrete Frames with Perforated Unreinforced Brick Masonry Infill Wall. Civ Eng J 2020;6:2397–415. <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091625>.
- [5] Crisafulli FJ, Carr AJ, Park R. Analytical modelling of infilled frame structures. Bull New Zeal Soc Earthq Eng 2000;33:30–47. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.33.1.30-47>.
- [6] Polyakov S V. On The Interaction Between Masonry Filler Walls and Enclosing Frame When Loaded In The Plane Of The Wall. Transl Earthq Eng Res Inst 1960;1:1–9.
- [7] Stafford Smith B. Methods for predicting the lateral stiffness and strength of multi-storey infilled frames. Build Sci 1967;2:247–57. [https://doi.org/10.1016/0007-3628\(67\)90027-8](https://doi.org/10.1016/0007-3628(67)90027-8).
- [8] Mainstone RJ. On the Stiffness and Strength of Infilled Frames. Proc. Inst. Civ. Eng., 1971.
- [9] Kwan K-H, Liauw T-C. Nonlinear analysis of integral infilled frames. Eng Struct 1984;6:223–31. [https://doi.org/10.1016/0141-0296\(84\)90049-X](https://doi.org/10.1016/0141-0296(84)90049-X).
- [10] Cường LT. Sự làm việc đồng thời của khung BTCT với khối xây chèn dưới tác dụng của tải trọng ngang. Đại Học Xây Dựng Hà Nội, 1991.
- [11] Kappos AJ, Stylianidis KC, Michailidis CN. Analytical models for brick masonry infilled R/C frames under lateral loading. J Earthq Eng 1998;2:59–87. <https://doi.org/10.1080/13632469809350314>.

Giải pháp thông minh xử lý rác thải hữu cơ

Smart Solutions for Organic Waste Management

Đặng Ngọc Sỹ¹, Vũ Dương², Hồ Ngọc Huy^{1*}, Đinh Hữu Quang¹, Võ Minh Long¹, Nguyễn Hữu Chiến¹, Nguyễn Duy Linh¹

¹Trung tâm Cơ khí, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

²Trường Công nghệ và Kỹ thuật, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

*Email: ngochuy12072001@gmail.com

Tóm tắt- Việt Nam là quốc gia có lượng phát thải khí nhà kính (KNK) theo thống kê năm 2014 là 283,97 triệu tấn CO₂ chiếm 0.61% so với thế giới. Dự báo đến năm 2030 là 977,1 triệu tấn. Trong đó, phát thải trong lĩnh vực năng lượng chiếm tỉ lệ lớn nhất (chiếm 73,1%), lĩnh vực công nghiệp vượt lên đứng vị trí thứ hai (15,1%), lĩnh vực nông nghiệp đứng thứ ba (chiếm 12,1%) và lĩnh vực chất thải đứng thứ tư (chiếm 5,0%). Trong lĩnh vực nông nghiệp, dữ liệu của CEL Consulting cho thấy, tỷ lệ ở nhóm rau quả là cao nhất, khoảng 32% sản lượng, tương đương với khoảng 7,3 triệu tấn rau quả bị thất thoát mỗi năm, ngành thịt, tỷ lệ thất thoát lên tới 14%, tương đương khoảng 694.000 tấn mỗi năm, nhóm cá và thủy sản có tỷ lệ thất thoát khoảng 12% sản lượng, tương đương 804.000 tấn mỗi năm.

Có tới 87% hộ gia đình người Việt thừa nhận đã lãng phí ít nhất hai đĩa thức ăn mỗi tuần – theo Food Bank Việt Nam. Com, bún, phở và mì chiếm tỷ trọng lớn nhất trong biểu đồ những loại thức ăn bị lãng phí (68%), kế đến là thịt cá nấu chín (53%) và rau củ (44%). Thường thì chất thải thực phẩm được trộn lẫn với chất thải thông thường, gây ra mối nguy hại cho sức khỏe cộng đồng và tác động tiêu cực đến môi trường thông qua hiệu ứng khí thải nhà kính.

Nhận thấy tỷ lệ phân bố phát thải khí nhà kính và tình trạng lãng phí thực phẩm ngày càng tăng, nhóm nghiên cứu chúng tôi tập trung nghiên cứu hệ thống chuyển đổi chất thải hữu cơ thành năng lượng để sử dụng cho cộng đồng và phân bón giàu chất dinh dưỡng, có thể được sử dụng trong các không gian xanh của thành phố. Hệ thống thiết kế đảm bảo mô đun hoá các bộ phận, và là hệ thống mở, nên có thể phát triển trong tương lai. Hệ thống bao gồm: bộ phận nghiền chất thải và sau đó đưa vào buồng nhiệt kín khí. Buồng nhiệt được cấp nhiệt (làm nóng) để tiệt trùng chất thải nhằm phục vụ cho không gian xanh, đồng thời khâu yếm khí để sản xuất khí sinh học Biogas tạo ra nguồn năng lượng tái tạo mới. Khí biogas được chuyển đổi thành năng lượng điện thấp sáng, trạm sạc và phục vụ cho chính nó.

Từ khóa: Nhà máy điện biogas, khí nhà kính, năng lượng điện, năng lượng tái tạo, tái chế rác thải, rác thải hữu cơ.

Abstract - Vietnam is a country with greenhouse gas (GHG) emissions according to statistics in 2014 of 283.97 million tons of CO₂, accounting for 0.61% of the world. The forecast by 2030 is 977.1 million tons. In which, emissions in the energy sector accounted for the largest proportion (accounting for 73.1%), the IP sector ranked second (15.1%), the agricultural sector ranked third (accounting for 12.1%) and the waste sector ranked fourth (accounting for 5.0%). Data from CEL Consulting shows that the rate in the fruit and vegetable group is the highest, about 32% of production, equivalent to about 7.3 million tons of fruits and vegetables lost each year. For the meat industry, the loss rate is up to 14%, or about 694,000 tons per year. The fish and fishery group has a loss rate of about 12% of production, equivalent to 804,000 tons per year.

As many as 87% of Vietnamese households admit to wasting at least two plates of food per week – according to Food Bank Vietnam. Rice, vermicelli, pho and noodles accounted for the largest proportion of wasted food (68%), followed by cooked meat and fish (53%) and vegetables (44%). Often food waste is mixed with conventional waste, causing a hazard to public health and a negative impact on the environment through the greenhouse gas emission effect. Recognizing the increasing rate of greenhouse gas emission distribution and food waste, our research team focused on researching a system that converts organic waste into energy for community use and nutrient-rich fertilizers, which can be used in the city's green spaces. The design system ensures the modularization of the parts, and is an open system that is scalable, so it can be developed in the future. flexibility and efficiency. The system includes: waste crushing unit and then feeding into the airtight heat chamber. The heat chamber is heated (heated) to sterilize waste to be suitable for green space, and anaerobic annealing is used to produce biogas. The biogas is converted into electrical energy for lighting, charging stations, and servicing itself.

Keywords: Biogas power plant, greenhouse gases, lectric power, renewable energy, waste recycling, organic waste.

1. Giới thiệu

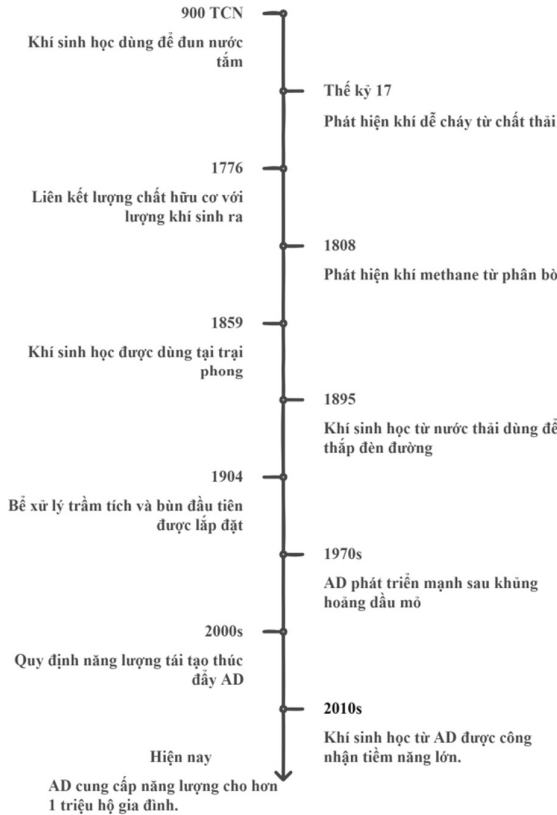
1.1 Tìm hiểu về máy xử lý rác hữu cơ

Từ nhiều thế kỷ, con người đã biết chất hữu cơ có thể tạo ra khí đốt. Các tài liệu ghi lại cho thấy lợi ích của nó hàng ngàn năm nay. Ngay từ 900 TCN, khí sinh học đã được sử dụng để đun nước tắm tại Assyria, và người tiên phong về phân hủy

ky khí (Anaerobic Digestion) là Van Helmont, người đã phát hiện ra rằng khí sinh ra từ chất hữu cơ rất dễ cháy vào thế kỷ 17. Và năm 1776, Volta kết luận rằng có sự liên kết giữa lượng chất hữu cơ được sử dụng và lượng khí sinh ra. Sau đó năm 1808, Sir Humphry Davy đã xác định rằng phân bò tạo ra methane tại một trang trại tại Bombay. Năm 1895 Exeter trở thành trung tâm AD của

Anh khí sinh học được thu hồi từ hệ thống nước thải và dùng để thắp sáng đèn đường. Một hệ thống gồm hai bể vừa xử lý lắng cặn vừa xử lý chất thải ở Hampton năm 1904.

Sự phát triển của công nghệ khí sinh học



Hình 1. Quá trình phát triển của tái chế chất hữu cơ thành năng lượng [2]

Đầu thế kỷ 20 bằng sáng chế đầu tiên được cấp tại Đức cho bể Imhoff. Những năm sau 1920 ra đời hệ thống bể kín, và từ năm 1930 khí vi sinh học trở thành một ngành khoa học và thúc đẩy nghiên cứu tối ưu các điều kiện cho AD.

Cuộc khủng hoảng dầu mỏ OPEC trong những năm 1970 đã đẩy mạnh sự tìm kiếm những nguồn năng lượng ngoài nhiên liệu hóa thạch. Quốc hội Mỹ cũng đã thông qua các đạo luật cho phép các công ty mua năng lượng từ các cơ sở AD đủ tiêu chuẩn. Đại học Cornell là nơi tiên phong ở Mỹ có thể xử lý phân của 60 con bò, điều này đã thúc đẩy hơn 140 cơ sở ở trên khắp nước Mỹ. Những năm 70 ở Trung Quốc cũng có hơn 6 triệu hệ thống tương tự, dạng vừa và nhỏ trên các trang trại.

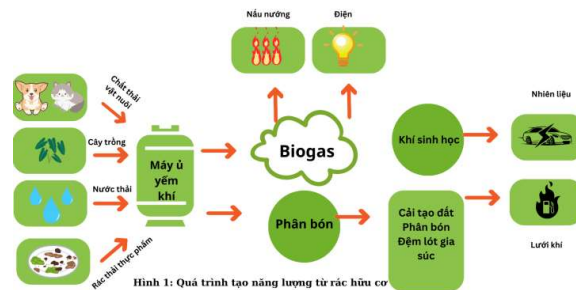
Sang những năm 2000, chính phủ đã yêu cầu sử dụng năng lượng tái tạo tại các nước như Anh, Scotlan và xứ Wales. Chính sách này quy định các nhà cung cấp điện phải tăng tỉ lệ sản xuất điện

từ các nguồn tái tạo. Và 8 năm sau Đạo luật Biến đổi Khí hậu của Vương quốc Anh đưa ra mục tiêu cắt giảm 80% lượng khí thải gây hiệu ứng nhà kính vào năm 2050. Và các năm tiếp theo, Ủy ban Biến đổi Khí hậu kêu gọi Chính phủ các nước phát triển đẩy mạnh thực hiện các bước giảm khí thải nhà kính. Vào năm 2010 hỗ trợ Năng lượng tái tạo cho điện đã được giới thiệu, và Ủy ban Biến đổi Khí hậu đã công nhận tiềm năng lớn của khí sinh học từ AD và thực hiện chiến lược và kế hoạch hành động AD.

Năm 2017 hơn 100 triệu tấn chất thải hữu cơ đã được xử lý tại Anh, đủ để cung cấp năng lượng cho hơn một triệu gia đình[2].

Như vậy chúng ta cũng đã thấy được tiềm năng rất lớn của chất thải hữu cơ, tuy nhiên tại Việt Nam vẫn chưa tận dụng được những nguồn năng lượng từ rác thải một cách hiệu quả. Một phần do ý thức người dân và một phần chưa có chính sách hỗ trợ và xử phạt các hành vi sai phạm.

Mô hình chung về xử lý rác thải được nêu trên Hình 2.



Hình 1: Quá trình tạo năng lượng từ rác hữu cơ

Hình 2. Tổng quan quá trình [6]

1.2 Mục tiêu nghiên cứu

Tính toán và thiết kế hệ thống chuyển đổi chất thải hữu cơ thành năng lượng để sử dụng cho cộng đồng và phân bón giàu chất dinh dưỡng, có thể được sử dụng trong các không gian xanh của thành phố. Hệ thống đáp ứng được các tiêu chí như sau:

- Hệ thống có thể xử lý 50kg rác thải hữu cơ trong một ngày và tạo ra được hơn 20m³ khí metan.
- Lượng điện năng sản xuất trong một ngày có thể được 40kW đủ lượng điện để chiếu sáng và sạc cho các thiết bị điện tử cơ bản.
- Tổng trọng lượng của hệ thống khoảng 300kg và chiếm khoảng 2m² diện tích.
- Phù hợp với các khu vực đông dân cư, rác thải hữu cơ thường bị chôn lấp chung.
- Xây được mọi chất hữu cơ và các chất vô cơ có trong thức ăn thừa.
- Có giá thành phù hợp với điều kiện kinh tế ở

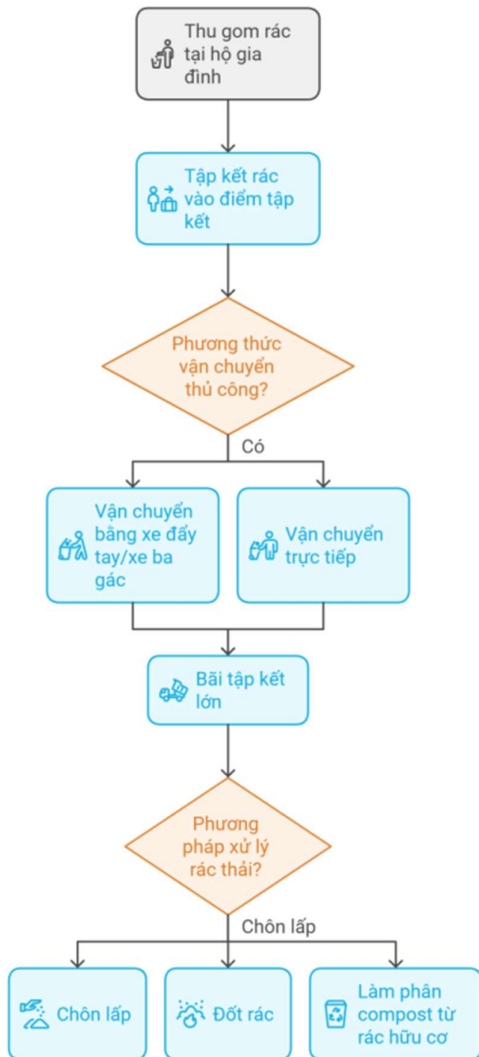
Việt Nam.

- Thiết kế có tính mô đun hóa cao, dễ dàng bảo trì cũng như thay thế linh kiện.
- Hệ thống xử lý tự động ít có sự can thiệp từ con người.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Nghiên cứu thị trường nội địa.

Thực trạng thu gom rác thải hiện tại của Việt Nam phổ biến như Hình 3.



Hình 3. Quy trình thu gom rác [10]

Quá trình thu gom và xử lý rác thải ở nước ta như sau: Bắt đầu từ các hộ gia đình rác được cho vào thùng chứa hoặc bao tải, không được phân loại cụ thể. Sau đó, người dân tự vận chuyển rác ra trước nhà đối với khu phố, và các điểm tập kết chung cho các khu dân cư. Tiếp theo, công nhân vệ sinh hoặc người thu gom rác sẽ sử dụng xe ba gác để gom rác từ các khu dân cư, chợ, quán xá và chuyển đến khu tập kết lớn. Sau khi tập kết, rác thải sẽ được xử lý bằng cách chôn lấp hoặc

đốt. Đối với rác hữu cơ, tại một số khu vực, người ta sẽ tận dụng làm phân compost, phục vụ nông nghiệp giúp giảm thiểu ô nhiễm môi trường và tận dụng tài nguyên từ rác thải.

Công nghệ sản xuất phân từ rác hữu cơ đã phát triển mạnh mẽ ở quy mô công nghiệp, tuy nhiên, rác thải đô thị với khối lượng nhỏ và phân tán khắp nơi trong thành phố lại rất khó để xử lý.

2.2. Phương pháp thu gom rác thải (tập quán) và thiết lập mô hình thu gom mới.

Mỗi hộ dân trong khu vực sẽ tự chuyển rác hữu cơ đến điểm tập kết, nơi máy nghiền tự động hoạt động khi nhận rác. Quá trình này không chỉ tạo ra năng lượng mà còn sản xuất phân hữu cơ. Khi có nhu cầu, người dân có thể đến khu vực này để lấy phân về sử dụng cho cây trồng.

2.3 Phương pháp ử yếm khí rác thải hữu cơ



Hình 4. Quá trình phân hủy kỵ khí

Quá trình phân hủy kỵ khí chất hữu cơ bao gồm 3 giai đoạn chính: Thủy phân, quá trình tạo axit và tạo khí metan[4].

-Thủy phân: Phân hủy chất hữu cơ phức tạp thành các đơn vị nhỏ hơn.

Protein → Amino acid

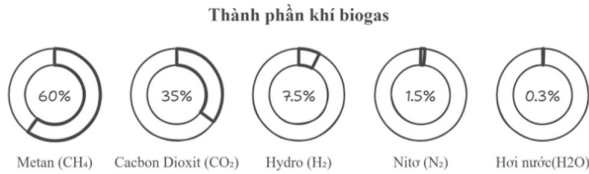
Carbohydrate → Đường đơn (Glucose)

Chất béo → Axit béo chuỗi dài + Glycerol

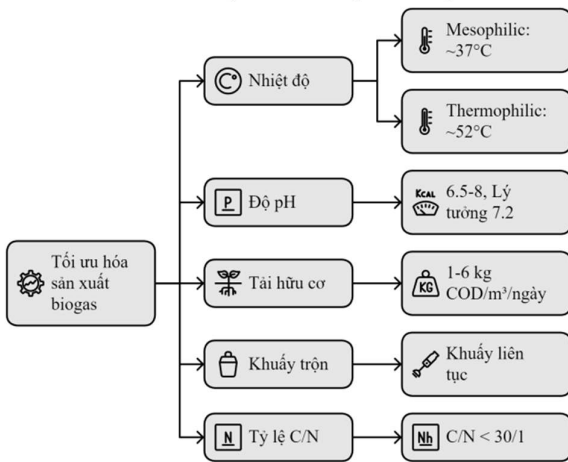
- Quá trình tạo axit: Chuyển đổi các sản phẩm trung gian thành axit axetic, hydro và CO2
Amino acid/Đường → Sản phẩm trung gian + CH₃COOH

Axit béo CH_3COOH + Sản phẩm trung gian
 Sản phẩm trung gian $CH_3COOH + H_2 + CO_2$
-Quá trình tạo khí Metan: Sản xuất khí metan từ axit axetic hoặc từ H_2 và CO_2
 $CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$
 $4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

2.4 Các yếu tố ảnh hưởng quá trình ử yếm khí.(Hình 5 và 6)



Hình 5: Thành phần có trong khí biogas[3].



Hình 6. Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình Các yếu tố quan trọng ảnh hưởng tới quá trình sản xuất biogas bao gồm:

- Nhiệt độ tối ưu cho vi sinh vật ưa ấm là 37°C và 52° cho sinh vật ưa nhiệt độ cao, độ pH từ 6.5-8 và độ pH lý tưởng là 7.2 để hệ vi sinh hoạt động hiệu quả nhất.
- Lượng nạp tải hữu cơ sẽ từ khoảng 1- 6kg COD/m³/ngày nếu quá cao sẽ gây quá tải, còn nếu quá thấp sẽ không đủ nguồn thức ăn cho vi sinh vật phát triển.
- Phải liên tục khuấy trộn để quá trình diễn ra đồng đều.
- Tỷ lệ Carbon và Nito (C/N) phải nhỏ hơn 30/1 để đảm bảo lượng carbon và nito cân bằng cho vi sinh vật sử dụng.

Và trong hệ thống các thông số, chúng tôi lựa chọn điều khiển sẽ là nhiệt độ, độ pH và lượng men vi sinh sẽ được thêm vào để hỗ trợ cho quá trình phân hủy chất hữu cơ.

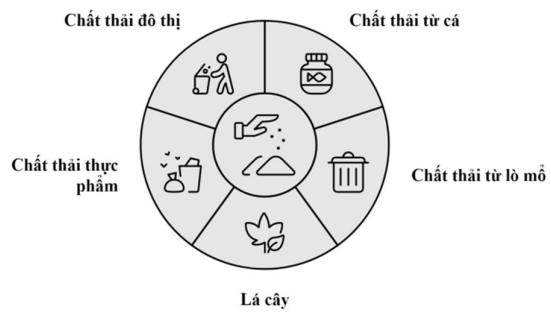
- Tại Bảng 1 sự hiện diện của kim loại nặng, kháng sinh và chất tẩy rửa được sử dụng trong rác thải có thể gây ức chế quá trình tạo khí sinh học tại.

Bảng 1: Nồng độ giới hạn (mg/l) của các chất ức chế khác nhau

Chất	mg/l
Đồng	10-250
Canxi natri	8000
magie	8000
niken	3000
niken	100-1000
Kẽm	350-1000
Crom	200-2000
Sunfua	200
Xyanua	2

2.5 Phương pháp tách phân hữu cơ và khí biogas (Hình 7)

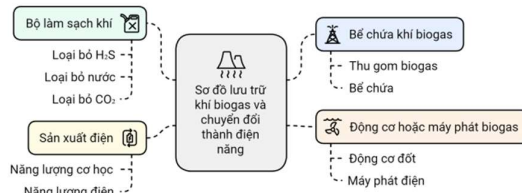
Các thành phần của chất thải hữu cơ



Hình 7. Các chất hữu cơ phổ biến ở thành thị

Rác thải hữu cơ từ hộ gia đình bao gồm những thực phẩm thừa, lá cây, và các vật liệu sinh học khác. Phân hủy kỵ khí (AD) giúp chuyển hóa thành biogas để sản xuất năng lượng và phân bón.

2.6 Sơ đồ lưu trữ khí biogas và chuyển đổi thành điện năng(Hình 8)



Hình 8. Sơ đồ lưu trữ khí biogas và chuyển đổi thành điện năng[7].

Quá trình lưu trữ khí biogas và chuyển đổi thành điện năng gồm các thành phần sau:

Bể chứa khí biogas: Biogas sau khi được sinh ra từ quá trình phân hủy kỵ khí trong bể phản ứng sẽ được lưu trữ trong bình khí.

Tiếp theo sẽ qua bộ phận làm sạch khí, trước khi khí được sử dụng, biogas phải được lọc để loại bỏ tạp chất như H_2S nước hoặc CO_2 giúp bảo vệ thiết bị và nâng cao hiệu suất quá trình chuyển đổi.

Sau khi khí được làm sạch sẽ được đưa vào động cơ đốt hoặc máy phát để chuyển đổi năng

lượng hóa học và sinh học trong khí thành năng lượng cơ học hoặc điện năng, từ đó có thể phục vụ cho chính hệ thống, thắp sáng và trạm sạc.

3. Kết quả nghiên cứu

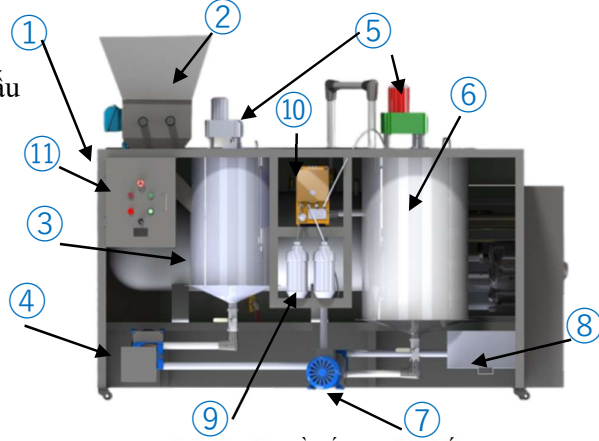
3.1 Thiết kế tổng thể hệ thống

Hệ thống xử lý rác thải thông minh được cấu tạo từ những bộ phận chính sau (Hình 9):

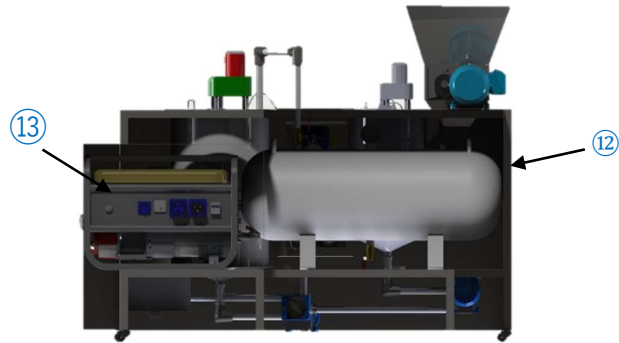
- ① Khung hệ thống
- ② Máy nghiền rác thải
- ③ Bồn chứa chất thải 1
- ④ Bơm lưu động 1
- ⑤ Hệ thống khuấy
- ⑥ Bồn chứa chất thải 2
- ⑦ Bơm lưu động 2
- ⑧ Thùng chứa phân
- ⑨ Bình chứa dung dịch hóa học
- ⑩ Máy bơm dung dịch
- ⑪ Tủ điện
- ⑫ Bình chứa khí
- ⑬ Máy phát điện khí biogas

Khung hệ thống ① được làm từ thép inox 304, các chi tiết khác được gắn trên đó. Khung hệ thống có khả năng chịu tải trọng lên đến 300kg chiều dài 1,5m chiều rộng 1m, chiều cao khoảng 1,3m. Máy nghiền ② có vỏ làm bằng thép inox 304 có khả năng nghiền mọi chất hữu cơ thành nước dạng sệt. Bồn chứa chất thải 1 ③ là nơi chứa chất thải ở dạng lỏng sau khi được nghiền với dung tích 40L. Máy bơm nhu động 1 ④ là động cơ bơm chất thải từ bồn số 1 qua bồn số 2. Động cơ khuấy ⑤ bao gồm động cơ, hộp giảm tốc, trục truyền động và cánh khuấy, có tác dụng trộn đều chất lỏng có trong bồn chứa. Bồn chứa kỵ khí ⑥ có dung tích 65L và là không gian kín để cho quá trình phản ứng kỵ khí diễn ra, trong bồn có những cảm biến như cảm biến nhiệt độ, cảm biến pH để lấy dữ liệu sau đó cấp tín hiệu cho vi điều khiển để tăng giảm pH và nhiệt độ. Bơm nhu động 2 ⑦ có tác dụng bơm phân hữu cơ sau quá trình kỵ khí ra bên ngoài. Thùng chứa phân ⑧ là nơi chứa phân và làm khô phân để người dân có thể sử dụng. Bình chứa dung dịch ⑨ chất kiềm có tính bazơ và thêm axit như H_2SO_4, HCl . Bình bơm dung dịch ⑩ dùng để thêm dung dịch hóa chất và men vi sinh để quá trình diễn ra ở điều kiện tốt nhất. Hộp điện chứa ⑪ chứa bộ điều khiển PLC và chứa toàn bộ mạch điện. Bồn chứa khí ⑫ sau khi khí được tạo ra từ quá trình kỵ khí sẽ được lưu trữ lại bồn chứa sẽ được bảo vệ bởi van xả áp, và hệ thống lọc khí CO_2, H_2S và nước. Máy phát điện ⑬, sau khi hệ

thống tách được khí biogas thì sẽ được máy phát điện chạy bằng khí cho ra nguồn điện để cho máy hoạt động động và một phần dư thừa sẽ được lưu trữ bằng ắc quy.



Hình 9a. Sơ đồ cấu tạo hệ thống (1-11)



Hình 9b. Sơ đồ cấu tạo hệ thống (12-13)

3.2 Thiết kế hệ thống nghiền rác

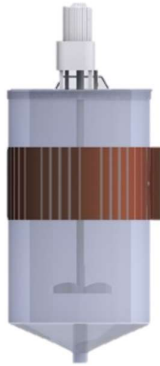


Hình 10. Máy nghiền rác thải

Máy nghiền được thiết kế chắc chắn, phù hợp với việc xử lý các loại chất thải hữu cơ trong quy trình xử lý rác hữu cơ. Hình dạng của thiết bị bao gồm một phễu thu gom ở phần trên, giúp tiếp nhận rác một cách dễ dàng và hiệu quả. Rác hữu cơ sẽ đi qua bộ phận nghiền có nhiệm vụ cắt, xé,

xay và nghiền nhỏ rác thải thành những mảnh vụn nhỏ hơn, bộ phận nghiền hoạt động dựa trên cơ chế bánh răng đôi, cho lực xoay mạnh mẽ, xử lý được những loại rác thải dẻo hoặc cứng. Cấu trúc đơn giản nhưng cho hiệu quả cao, có khả năng làm việc liên tục với lượng rác lớn, điều này góp phần nâng cao hiệu quả sản xuất khí biogas.

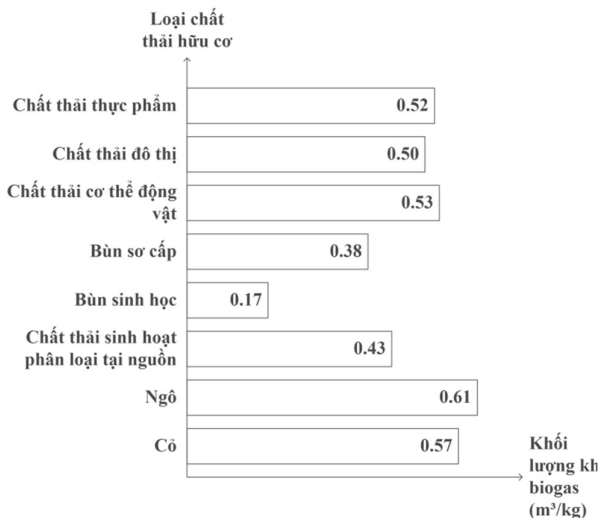
3.3 Thiết kế hệ thống bình khuấy



Hình 11. Bình yếm khí

Bình khuấy được thiết kế cho quy trình kỵ khí trong sản xuất khí biogas, bao gồm động cơ, bộ giảm tốc, trục truyền lực và cánh khuấy trộn để khuấy trộn chất thải hữu cơ. Điện trở nhiệt dạng vòng ống giúp duy trì nhiệt độ lý tưởng cho quá trình phân hủy sinh học. Bình ủ kỵ khí giữ môi trường yếm khí, tối ưu hóa quá trình lên men và sản xuất khí biogas hiệu quả.

3.5 Tính toán năng lượng cho hệ thống



Hình 12. Khối lượng khí biogas tạo ra từ các chất thải hữu cơ[5]

Với hệ thống xử lý chất thải hữu cơ thông minh, chúng tôi có thể biến rác thải thành nguồn năng lượng sạch và bền vững, chúng tôi mong muốn quy mô của sản phẩm dưới 100 người, sẽ phát

thải 40-50kg chất thải hữu cơ mỗi ngày, đủ để sản xuất 18-22,5 m³ khí biogas. Khí biogas này sau đó được chuyển hóa thành điện năng, cung cấp một nguồn năng lượng để duy trì hoạt động của máy và có thể dùng để lưu trữ cho những mục đích sử dụng khác. Mỗi ngày máy tiêu thụ trong khoảng 6-12 kWh điện và cho ra được 43-75 kWh vượt xa lượng điện tiêu thụ để vận hành chính nó, từ đó chúng tôi có thể dùng lượng điện đó để chiếu sáng và lưu trữ vào ắc quy để sạc cho các thiết bị điện tử. Điều này không chỉ giảm thiểu rác thải đưa ra môi trường mà còn góp phần giảm thiểu sự phụ thuộc vào các nguồn năng lượng truyền thống.

4. Kết luận

Công nghệ xử lý rác thải hữu cơ kỵ khí đã được phát triển mạnh mẽ ở quy mô công nghiệp, tuy nhiên rác thải đô thị với khối lượng nhỏ và phân tán khắp thành phố lại khó xử lý. Giải pháp cung cấp một bản thiết kế thông minh cho quản lý rác thải hữu cơ có khả năng xử lý rác thải từ nhiều địa điểm đô thị khác nhau với quy mô linh hoạt.

Sáng kiến này thể hiện sự chuyển đổi sang sử dụng các hệ thống phục hồi và tái tạo. Mỗi năm đội ngũ gồm năm khu vực có thể tái tạo khoảng 1.000 tấn rác thải khỏi bãi chôn lấp và giảm thiểu gần 2.700 tấn khí CO₂ tương đương. Khi mở rộng trên toàn Việt Nam chúng tôi có thể tái tạo tới 21.000 tấn rác thải khỏi bãi chôn lấp và giảm khoảng 55.000 tấn khí CO₂ tương đương. Hơn nữa, giải pháp còn đề xuất cả về khía cạnh giáo dục và đào tạo nhằm khuyến khích áp dụng rộng rãi hệ thống này và tối đa hóa lợi ích xã hội từ chiến lược quản lý rác này. Chúng tôi lạc quan rằng với công nghệ sáng tạo, chúng ta có thể cùng nhau biến rác thải thành tài nguyên. Tuy nhiên vấn đề về phân loại rác thải hữu cơ tại nguồn vẫn còn là một vấn đề nan giải, chúng ta hãy cùng nhau thay đổi để có một môi trường sống tốt hơn.

Bài này mới chỉ đề cập tính toán lựa chọn một số thông số chính của hệ thống do việc tính toán thiết kế hệ thống đồng bộ đòi hỏi phải có thêm nguồn lực.

Có những tiêu chí để hệ thống có thể chuyển đổi năng lượng sinh hóa thành năng lượng hóa học, thành năng lượng đốt hoặc năng lượng điện. Mặt khác cần phải làm sạch khí loại bỏ H₂S, loại bỏ khí CO₂ để hạn chế sự ô nhiễm môi trường và cho hiệu suất đốt đạt hiệu quả cao nhất. Đây sẽ là nội dung chính trong nghiên cứu tiếp theo để tiếp tục công bố.

Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Văn Hiếu, Nguyễn Hoàng Nam(2021). *Current situation of greenhouse gas emission in Vietnam: Opportunities and challenges*.
- [2] QUBE Renewables Ltd(2018) *A brief history of Anaerobic Digestion*.
- [3] Dishna Schwarz (2007). *Biogas Technology*.
- [4] Peter Jacob Jorgensen, PlaneEnergi (2009), *Biogas-Green Energy*, Aarhus University.
- [5] Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen. (2008) *Biogas Handbook*. World Health Organization.
- [6] Environmental and Energy Study Institute (2017), *Biogas: Converting Waste to Energy*.
- [7] Gunt hamburg (2023) *CE 642 Biogas plant*.
- [8] *Lãng phí thực phẩm – bài toán khó của phát triển bền vững tại Việt Nam - Foodbank Vietnam*.
- [9] *Micro Modular Anaerobic Digester (MMAD) System*.
- [10] Ủy ban nhân dân thành phố Đà Nẵng- *Công tác phân loại rác thải sinh hoạt tại nguồn*

Phân tích và đánh giá mức độ rủi ro đối với kết cấu khung thép liên kết đàn hồi chịu tải trọng tĩnh theo mô hình mờ

Analysis and risk assessment for steel frame structures subject to static loads according to the fuzzy model

Trần Thanh Việt

Khoa Xây Dựng – Trường Công nghệ và Kỹ thuật- Đại Học Duy Tân

Email: ttviet05@gmail.com

Tóm tắt: Báo cáo trình bày hai nội dung: (i) Phân tích kết cấu khung thép nhiều tầng, trong đó độ cứng các liên kết và tải trọng tĩnh là các đại lượng không chắc chắn cho dưới dạng các số mờ tam giác. Chuyển vị, nội lực được xác định bằng thuật toán PTHH mờ (FFEM) trên cơ sở áp dụng phương pháp tối ưu mức α với thuật giải tối ưu tiến hóa vi phân (DE); (ii) Tính toán mức độ rủi ro dựa trên so sánh chuyển vị mờ lớn nhất với tiêu chuẩn thiết kế. Giá trị rủi ro tính theo công thức tỷ số diện tích, áp dụng cho trường hợp tiêu chuẩn cho phép cho bởi một giá trị xác định. Các ví dụ số được thực hiện đối với khung thép phẳng nhiều tầng.

Từ khóa: *Khung thép, Liên kết mờ, Phương pháp phần tử hữu hạn mờ, Thuật toán tiến hóa vi phân.*

Abstract: The report presents two contents: (i) Analysis of multi-story steel frame structure, in which the stiffness of the connections and the static loads are uncertain quantities given in the form of triangular fuzzy numbers. The displacements and internal forces are determined by fuzzy finite element algorithm (FFEM) based on the application of the optimal level - α method with the optimal solution of differential evolution (DE); (ii) Calculating the risk level based on the comparison of the largest displacement with the design standard. Risk value calculated according to the formula of area ratio, applicable to the standard case allowed by a specified value. Numerical examples are performed for multi-storey plane steel frames.

Keywords: Steel frame, Fuzzy connection, Fuzzy finite element method, Differential evolution algorithm

1. Mở đầu

Các liên kết trong kết cấu thép ảnh hưởng nhiều đến sự làm việc chung của kết cấu. Theo truyền thống, khi phân tích và tính toán kết cấu khung thép, liên kết dầm – cột, chân cột - móng được quan niệm thiết kế như là liên kết ngàm hoặc liên kết khớp. Thực tế ứng xử của liên kết này có khả năng xoay tương đối giữa dầm và cột, giữa chân cột với móng khi chịu lực. Tức là liên kết khớp sẽ xuất hiện mô men và nút cứng sẽ có tính mềm dẻo. Do vậy các liên kết này là liên kết nửa cứng. Tuy nhiên, việc xác định độ cứng của liên kết, trong thực tế, dựa vào cấu tạo cụ thể, chi tiết của mỗi liên kết, rất khó xác định chính xác. Vì vậy có thể xem độ cứng của các liên kết này là những đại lượng không chắc chắn và việc biểu diễn mức cứng của các liên kết bằng số mờ là hợp lý [1,2,3,4]. Chính vì vậy mà các liên kết này trong khung thép được gọi là liên kết nửa cứng mờ (fuzzy semi – rigid connections). Ngoài ra, các yếu tố đầu vào, đặc biệt là tải trọng cũng thể hiện sự không chắc chắn và có thể mô tả bởi các số mờ.

Trong những năm gần đây, một số tác giả khác đã thực hiện phân tích tĩnh kết cấu với liên kết mờ. Phân tích khung thép phẳng hai tầng – một nhịp có liên kết đàn hồi ở hai đầu dầm và tải trọng mờ bằng phương pháp giải tích, sau đó dùng phương pháp tổ hợp để xác định hàm thuộc ứng

suất mờ tại các tiết diện nguy hiểm [1,2]. Trong [4], các tác giả đã tính nội lực và chuyển vị khung thép phẳng hai tầng – một nhịp có liên kết nửa cứng mờ (liên kết dầm – cột, chân cột – móng) bằng phương pháp tối ưu và phương pháp tổ hợp. Bài báo [5] đã phân tích phần tử hữu hạn mờ dao động tự do khung phẳng liên kết cứng dựa trên phương pháp mặt phản ứng (RSM) cải tiến với hàm thay thế là đa thức bậc hai đầy đủ, trong đó tải trọng, các đặc trưng hình học, đặc trưng cơ học có dạng số mờ tam giác cân. Việc sử dụng RSM cho thấy tính hiệu quả đối với các bài toán kết cấu phức tạp có biến mờ lớn. Trong [6], tác giả đã tính nội lực và chuyển vị khung thép phẳng có liên kết đàn hồi ở hai đầu dầm bằng phương pháp phần tử hữu hạn và khảo sát sự thay đổi nội lực theo sự thay đổi của độ cứng liên kết. Theo một hướng tiếp cận khác, trong [7,8,9], tác giả đã đề xuất thuật toán tiến hóa vi phân (DE) – một thuật toán tìm kiếm hiệu quả và đơn giản cho việc tối ưu toàn cục trên không gian liên tục, từ đó vận dụng vào việc phân tích kết cấu mờ bằng phương pháp tối ưu mức α .

Trong bài báo này, các tác giả tiến hành tính toán chuyển vị mờ và đánh giá mức độ rủi ro kết cấu khung thép phẳng có độ cứng liên kết mờ và tải trọng mờ có dạng số mờ tam giác. Phương pháp PTHH mờ được thực hiện với thuật toán tiến hóa vi phân kết hợp tối ưu mức α . Mức độ

rủi ro của kết cấu được đánh giá qua công thức tỷ số diện tích [11] theo điều kiện cứng. Một ví dụ bằng số phân tích tĩnh khung thép phẳng chịu uốn bảy tầng – ba nhịp, độ cứng liên kết dầm – cột, chân cột – móng và tải trọng có dạng số mờ tam giác cân được minh họa lập trình bằng MATLAB.

2. Phân tích và đánh giá mức độ rủi kết cấu khung thép chịu tải trọng tĩnh theo mô hình mờ

2.1 Mô hình phần tử hữu hạn với liên kết đàn hồi

Khảo sát khung phẳng chịu tải trọng tĩnh, có liên kết dầm – cột và chân cột – móng là liên kết nửa cứng với quan hệ mô men và góc xoay đàn hồi tuyến tính, độ cứng của liên kết là k, phương trình cơ bản của phương pháp phần tử hữu hạn mô hình chuyển vị được viết như sau

$$[K]\{u\} = \{f\} \quad (1)$$

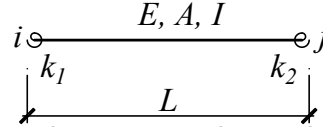
trong đó [K], {u}, {f} là ma trận độ cứng, vec tơ chuyển vị nút, vec tơ tải trọng nút của khung.

Ma trận độ cứng của phần tử thanh liên kết đàn hồi trong mô hình này được viết như sau

$$[K_e] = [T]^T [\bar{K}_e] [T] \quad (2)$$

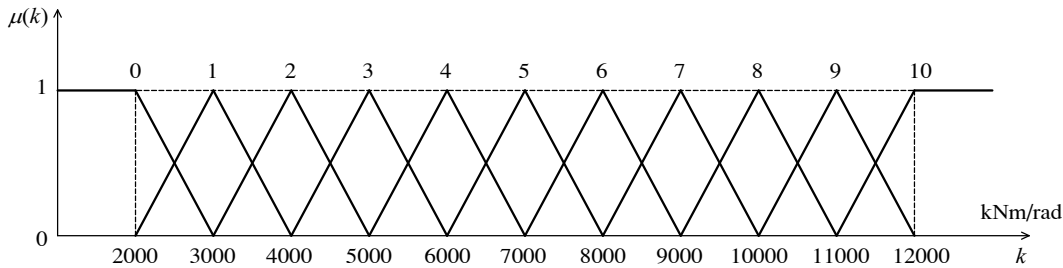
trong đó $[\bar{K}_e]$ là ma trận độ cứng phần tử thanh hai đầu liên kết cứng

[T] là ma trận chuyển [6,10], dạng của nó phụ thuộc vào liên kết đàn hồi xuất hiện ở mỗi đầu thanh.



Hình 1. Phần tử thanh hai đầu liên kết đàn hồi

Trong hệ phương trình (1), khi các đại lượng tải trọng đầu và độ cứng của liên kết là các số mờ, do đó kết quả đầu ra chuyển vị và nội lực phần tử cũng là các số mờ. Các liên kết mờ đã được thể hiện trong một số nghiên cứu trước đây. Hình 2 minh họa hàm thuộc độ cứng mờ của liên kết với mười một mức cứng được đánh số từ 0 đến 10, trong đó mức cứng 0 tương ứng với liên kết khớp, mức cứng 10 tương ứng với liên kết ngàm, các mức cứng từ 1 đến 9 tương ứng với liên kết nửa cứng, trên cơ sở tham khảo các tài liệu [1,2,3,4].



Hình 2. Hàm thuộc tập mờ độ cứng của liên kết với mười một mức cứng

2.2. Tối ưu mức α với thuật toán tiến hóa vi phân (DE)

Phương pháp tối ưu mức α được xem như là một cách tiếp cận tổng quát cho việc phân tích kết cấu mờ. Trong đó, tất cả các biến đầu vào mờ được rời rạc hóa thành các mức độ thuộc gọi là lát cắt α . Ứng với mỗi lát cắt α , ta có khoảng của các biến đầu vào và tìm khoảng các giá trị đầu ra bằng các thuật toán tối ưu (tìm max, min) khác nhau. Quá trình tối ưu với mỗi mức α được chạy trực tiếp trên mô hình phần tử hữu hạn và đánh giá giá trị hàm mục tiêu đầu ra nhiều lần để đạt đến một lời giải chấp nhận được, làm tăng thời gian tính toán. Thuật toán tối ưu tiến hóa vi phân (DE) [7,8], được đề xuất đầu tiên bởi Storn và Price, là thuật toán tối ưu dựa trên quần thể. DE là một thuật toán đơn giản, dễ sử dụng, hội tụ toàn cục tốt hơn và mạnh hơn thuật toán di truyền (GA), do đó thích hợp cho các bài toán tối ưu

khác nhau. Các bước thực hiện cơ bản của DE như sau :

Với hàm mục tiêu $f(x)$, ta cần tìm kiếm tối ưu toàn cục trên không gian liên tục các biến : $x = \{x_i\}, x_i \in [x_{i,min}, x_{i,max}], i = 1,2,...,n$.

Với mỗi thế hệ G, quần thể ban đầu được xây dựng ngẫu nhiên trong miền cho phép của các biến độc lập theo công thức :

$$x_{k,i}(0) = x_{i,min} + rand[0,1].(x_{i,max} - x_{i,min}), i = 1,2,...,n \quad (3)$$

trong đó $rand[0,1]$ – số thực ngẫu nhiên phân bố đều trong khoảng $[0,1]$.

Quá trình tiến hóa lặp sẽ được thực hiện như sau:

Bước 1 – Đột biến : Vectơ đột biến y được tạo ra từ quần thể $x_k(G), k = 1,2,...,NP$ như sau :

$$y = x_{r1}(G) + F.[x_{r2}(G) - x_{r1}(G)] \quad (4)$$

với NP – số cá thể; r_1, r_2, r_3 – các số tự nhiên được chọn ngẫu nhiên, và $1 \leq r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq k \leq NP$; F – hằng số tỉ lệ đột biến được chọn trong khoảng $[0,1]$.

Bước 2 – Lai ghép : Quần thể mới z được tạo ra từ phép lai ghép hai quần thể x và y như sau

$$z_i = \begin{cases} y_j & \text{if } (rand[0,1] \leq Cr) \text{ or } (r = i) \\ x_{k,i} & \text{if } (rand[0,1] > Cr) \text{ or } (r \neq i) \end{cases} \quad (5)$$

ở đây, r – số nguyên được chọn ngẫu nhiên trong khoảng [1,n], Cr – xác suất lai ghép được chọn trong khoảng [0,1]

Bước 3 – Chọn lọc : Trên cơ sở so sánh hai quần thể x và z, tiến hành chọn lọc các cá thể có giá trị hàm nhỏ hơn, ta được quần thể u như sau :

$$u_j = \begin{cases} z_j & \text{if } f(z_j) < f(x_{k,i}) \\ x_{k,i} & \text{if otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

Bước 4 – Tái sinh : Thực hiện phép gán $x_k(G+1) = u_k(G)$ ta được thế hệ mới. Quá trình tiến hóa lặp lại từ bước 1 đến bước 4 tùy theo số vòng lặp cho đến khi ta được giá trị chấp nhận được (sai lệch kết quả giữa hai vòng lặp kế tiếp nhỏ hơn 1%)

2.3. Đánh giá mức độ rủi kết cấu theo điều kiện cứng bằng phương pháp tỷ số diện tích

Khi chuyển vị được tính toán của kết cấu và chuyển vị ngang cho phép đều là các đại lượng mờ, lần lượt là \tilde{u} và $[\tilde{u}]$, độ tin cậy mờ (mức độ an toàn - SP) và mức độ rủi ro (không an toàn -

FP) của kết cấu theo điều kiện cứng được tính toán bằng “phương pháp tỷ số diện tích” [10]. Phương pháp này được thiết lập dựa trên cơ sở so sánh hai tập mờ là trạng thái của kết cấu so (ở đây là chuyển vị mờ \tilde{u}) với tập khả năng của kết cấu (ở đây là chuyển vị mờ cho phép $[\tilde{u}]$). Phương pháp tỷ số diện tích chính là tỷ số của từng phần diện tích (trên ranh giới trục tung) trên diện tích của hiệu hai tập mờ “khả năng” và “trạng thái”.

Mức độ an toàn – SP được xác định theo công thức:

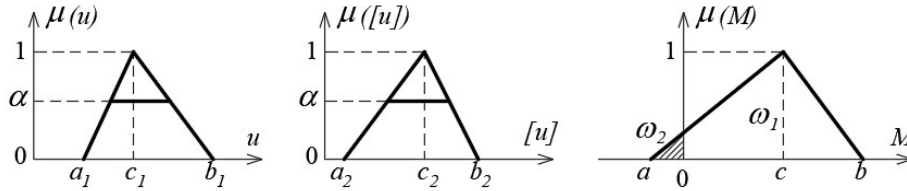
$$SP = \frac{\omega_1}{\omega_1 + \omega_2} \quad (7)$$

và mức độ rủi ro (không an toàn - FP) được xác định theo công thức:

$$FP = 1 - SP = \frac{\omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (8)$$

trong đó ω_1 và ω_2 là phần diện tích bên phải và bên trái trục tung, được xác định như Hình 3 (trong đó ký hiệu $\mu(u)$ là hàm thuộc của tập mờ \tilde{u} , tương tự cho $[\tilde{u}]$ và \tilde{M}), với:

$$\tilde{M} = [\tilde{u}] - \tilde{u} \quad (9)$$



Hình 3: Hàm thuộc các tập mờ \tilde{u} , $[\tilde{u}]$ và \tilde{M} theo phương pháp tỷ số diện tích

3. Ví dụ minh họa

Khảo sát khung thép phẳng liên kết đàn hồi bảy tầng – ba nhịp như hình 4.

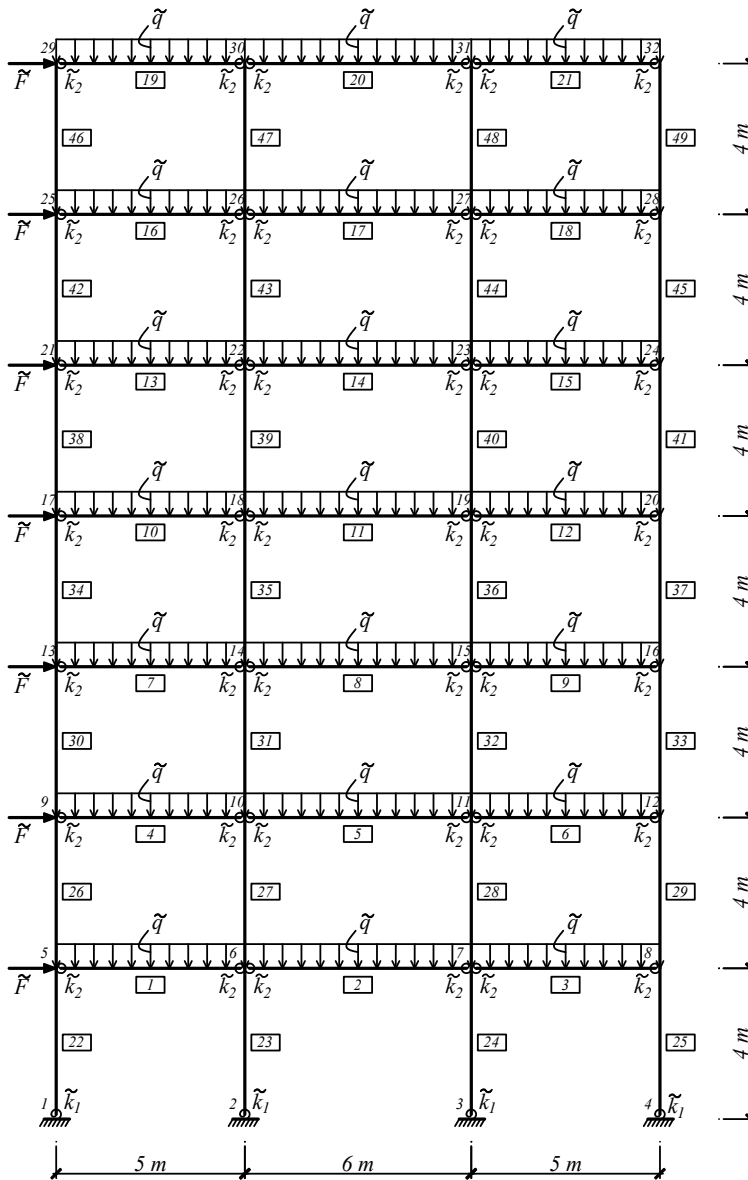
Các số liệu như sau: mô đun đàn hồi $E = 210E+06$ kN/m²; diện tích mặt cắt ngang và mô men quán tính của cột từ tầng một đến tầng ba : $A_{c1} = 7.04E-03$ m², $I_{c1} = 1.887E-04$ m⁴, từ tầng bốn đến tầng bảy : $A_{c2} = 6.24E-03$ m², $I_{c2} = 9.877E-05$ m⁴; diện tích mặt cắt ngang và mô men quán tính của dầm $A_d = 6,64E-03$ m², $I_d = 1.396E-04$ m⁴; nhịp dầm biên $L_b = 5.0$ m; nhịp dầm giữa $L_g = 6.0$ m; chiều cao cột $L_c = 4.0$ m. Các số mờ tam giác cân bao gồm : tải trọng tác dụng \tilde{q}, \tilde{F} được giả thiết như sau $\tilde{q} = (30,3,3)$ kN/m, $\tilde{F} = (10,3,3)$ kN; các độ cứng liên kết nửa cứng mờ \tilde{k}_1, \tilde{k}_2 được lấy ở hình 2, với $\tilde{k}_1 = (11,1,1)10^3$ kN.m/rad (mức cứng 9), $\tilde{k}_2 = (8,1,1)10^3$ kN.m/rad (mức cứng 6) .

Tiến hành chạy bài toán xác định khoảng giá trị đầu ra với năm mức α theo thuật toán tối ưu tiến

hóa vi phân (DE), trong đó số biến là 4, kích thước quần thể là 50, hệ số đột biến là 0.5, xác suất lai ghép là 0.9. Kết quả giá trị tối ưu đạt được sau 50 lần lặp. Bài toán được lập trình trên Matlab. Kết quả khoảng giá trị của chuyển vị đỉnh của khung ứng với các lát cắt α được thể hiện ở bảng 1.

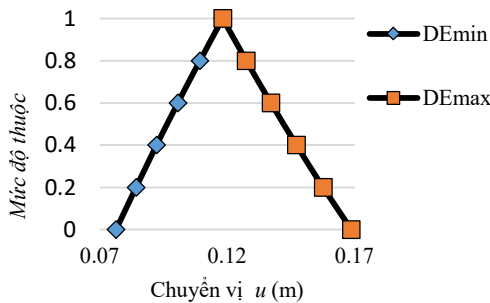
Bảng 1. Kết quả chuyển vị

Lát cắt α	Khoảng chuyển vị u (m)
$\alpha = 1$	0.118
$\alpha = 0.8$	[0.109; 0.128]
$\alpha = 0.6$	[0.101; 0.137]
$\alpha = 0.4$	[0.092; 0.147]
$\alpha = 0.2$	[0.084; 0.158]
$\alpha = 0$	[0.076; 0.169]



Hình 4. Khung thép bảy tầng – ba nhịp

Hàm thuộc chuyển vị đỉnh của khung theo DE được thể hiện trong hình 5. Từ kết quả này ta nhận thấy các số mờ đầu vào là tam giác cân nhưng chuyển vị mờ không phải là tam giác cân.



Hình 5. Hàm thuộc chuyển vị đỉnh của khung theo DE
Đánh giá mức độ an toàn theo điều kiện cứng:
Theo các tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành [11,12], chuyển vị ngang cho phép đối với kết

cấu khung là $[u] = (1/500)H = 0.056m$. Mức độ rủi ro FP theo điều kiện cứng: $FP = 1$. Kết quả mức độ rủi ro cho thấy kết cấu này hoàn toàn mất an toàn khi chịu tải trọng đã cho (mức độ an toàn $SF = 0$)

4. Kết luận

Một phân tích và đánh giá mức độ rủi ro kết cấu khung thép phẳng chịu tải trọng tĩnh theo mô hình mờ được thực hiện. Các đại lượng đầu vào mờ (độ cứng liên kết, tải trọng tác dụng) được kể đến. Tối ưu mức α với thuật toán tiến hóa vi phân kết hợp mô hình PTHH (lập trình bằng Matlab) được áp dụng để xác định chuyển vị mờ. Từ đó, việc đánh giá mức độ rủi ro kết cấu theo điều kiện cứng bằng công thức tỷ số diện tích thể hiện sự cần thiết của vấn đề được nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Lê Xuân Huỳnh, Lê Công Duy (2006), Phương pháp đánh giá độ tin cậy mờ của kết cấu khung. Tạp chí xây dựng - 11/2006.
- [2]. Lê Công Duy (2011), Đánh giá độ tin cậy của kết cấu khung thép có liên kết đàn hồi theo lý thuyết tập mờ, Tạp chí Khoa học Công nghệ, ĐH Duy Tân, số 1-2011.
- [3]. Lê Công Duy, Trần Thanh Việt, Xây dựng hàm thuộc cho một số các yếu tố có tính chất mờ tác động đến kết cấu công trình xây dựng, Tạp chí Khoa học Công nghệ, ĐH Duy Tân, số 4-2012.
- [4]. Ali Keyhani, Seyed Mohammad Reza Shahabi (2012). Fuzzy connections in structural analysis. ISSN 1392 – 1207, MECHANIKA, 2012 Volume 18(4): 380-386.
- [5]. Nguyen Hung Tuan, Le Xuan Huynh, Pham Hoang Anh (2015), A fuzzy finite element algorithm based on response surface method for free vibration analysis of structure, Vietnam Journal of Mechanics, VAST, Vol. 37, No. 1 (2015), pp. 17 – 27.
- [6]. Vũ Quốc Anh (2012), Tính toán và thiết kế khung thép liên kết đàn hồi, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội 2012.
- [7]. Storn, R. and Price, K. (1995), Differential Evolution – A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces, international Computer Science Institute, Berkeley.
- [8]. Storn, R. and Price, K. (1997), Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces, Journal of Global Optimization 11: 341–359, Netherlands.
- [9]. Anh Hoang Pham, Thanh Xuan Nguyen and Hung Van Nguyen (2014), Dfuzzy Structural Analysis Using Improved Differential Evolution Optimization , International Conference on Engineering Mechanic and Automation (ICEMA 3) Hanoi, October 15-16, 2014.
- [10]. Lê Công Duy, Một phương pháp đánh giá mức độ an toàn của kết cấu khung nhiều tầng chịu tải trọng động theo lý thuyết tập mờ, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, ĐH Xây dựng, (2014).
- [11]. TCVN 5574 : 2018, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – tiêu chuẩn thiết kế, Hà Nội, 2018.
- [12]. TCVN 5575 : 2012, Kết cấu thép – tiêu chuẩn thiết kế, Hà Nội, 2012.

Hydrogen Diffusivity in Brine and Water-Saturated Pores: Implications for Underground Hydrogen Storage

Hai Hoang^{1,*}, Tu Khai Nam Nguyen¹, Halla Kerkache, Pierre Cezac², Salaheddine Chabab², Guillaume Galliero², Antoine Geoffroy-Neveux³, Carlos Nieto-Draghi³

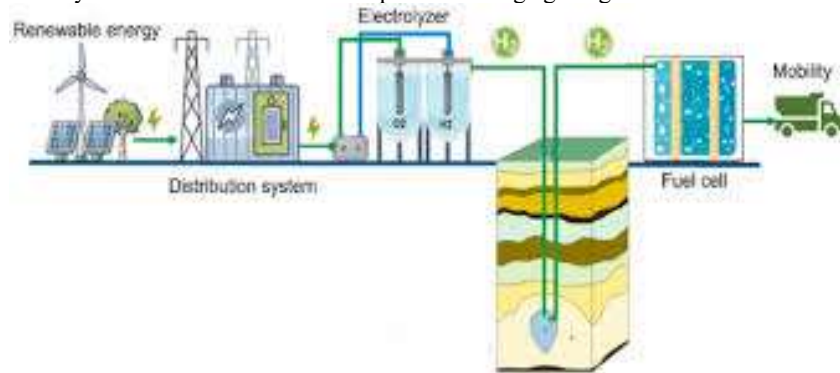
¹*Duy Tan University*

²*Universite de Pau et des Pays de l'Adour*

³*IFP Energies nouvelles*

*Email: hoanghai3@duytan.edu.vn

Abstract Anthropogenic carbon dioxide (CO₂) emissions, primarily from the combustion of fossil fuels, are the leading cause of global warming and climate change. Moreover, it is projected that global energy demand will increase by at least 50% by 2050. To address these challenges, a shift to renewable energy sources like wind and solar is not only urgent but inevitable. However, these renewable sources present a challenge due to their variability, seasonal dependence, and largely uncontrollable, leading to an imbalance between energy supply and demand - either excesses or deficits of renewable energy. In this scenario, hydrogen represents a viable solution for storing surplus renewable energy through electrolysis, requiring the development of efficient hydrogen storage solutions. Underground storage, in particular, has emerged as a promising option, attracting increasing attention. To select safe and efficient storage sites, understanding hydrogen diffusivity in geological formations is essential to minimize potential H₂ losses. Experimental data on hydrogen diffusion under geological conditions is often limited due to the complexity and extreme nature of underground environments. Molecular simulations have emerged as effective alternatives to experiments in dealing with such situations. This presentation will introduce the simulation methods used to study hydrogen diffusivity and present key findings on H₂ diffusivity in brine and water-saturated pores at storage geological condition.



Energy cycle for pure UHS

Đánh giá mức độ ô nhiễm và nguồn gốc của kim loại trong bụi đường ở khu công nghiệp lớn nhất thành phố Đà Nẵng và vùng phụ cận. đề xuất hướng quản lý các tác động đến môi trường và sức khỏe con người

Assessment of heavy metal contamination and sources in road dust from Đà Nang's largest industrial zone and surrounding areas

Nguyễn Thị Hồng Tinh*, Trần Bá Quốc

Khoa Môi trường và Khoa học Tự nhiên, Trường Công nghệ và Kỹ thuật, Đại học Duy Tân

**Email: nguyenthongtinh@dtu.edu.vn*

Tóm tắt: Nghiên cứu này tập trung vào đánh giá mức độ ô nhiễm và nguồn gốc của các kim loại As, Pb, Zn và Mn trong bụi đường tại khu công nghiệp (KCN) lớn nhất Đà Nẵng và các khu vực đô thị (KĐT) phụ cận. Bằng việc thu thập và phân tích mẫu từ KCN, KĐT phụ cận và khu vực nền, nghiên cứu đã chỉ ra rằng nồng độ các kim loại này tăng từ khu vực nền, qua khu đô thị và cao nhất tại KCN, với thứ tự nồng độ là $As < Pb < Zn < Mn$. Phân tích phân bố không gian của các kim loại cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa các khu vực, với nồng độ cao nhất của As ở phía Tây Bắc KCN và của Pb và Zn ở phía Đông Nam. Mn có nồng độ cao trong KCN và một số điểm nóng ở KĐT phụ cận. Mức độ ô nhiễm của các kim loại được đánh giá bằng các chỉ số tích lũy địa chất (Igeo), hệ số độ giàu (EF) và chỉ số tải lượng ô nhiễm (PLI). Zn và Pb có mức độ ô nhiễm từ "trung bình" đến "mạnh" tại KCN, trong khi Mn và As có mức độ ô nhiễm nhẹ hơn. Nguồn gốc của Zn, Pb và As có thể chủ yếu từ các hoạt động công nghiệp như sản xuất thép mạ kẽm, sản phẩm cách nhiệt và xi măng. Mn có thể có nguồn gốc từ các hoạt động công nghiệp, khí thải xe cộ và các yếu tố địa chất. Kết quả của nghiên cứu nhấn mạnh sự cần thiết của việc tăng cường kiểm soát phát thải và quản lý hiệu quả hệ thống chất thải để giảm thiểu ô nhiễm, nhằm bảo vệ sức khỏe cộng đồng và duy trì môi trường sống trong lành cho các khu vực dân cư và công nghiệp tại Đà Nẵng và các địa phương tương tự trên toàn cầu.

Từ khóa: Kim loại, bụi đường, ô nhiễm, nguồn gốc, khu công nghiệp, Đà Nẵng

Abstract: This study assesses the pollution levels and sources of As, Pb, Zn, and Mn in road dust within the most significant industrial zone (IN) in Da Nang and surrounding urban (SU) areas. By collecting and analyzing samples from the IN zone, SU areas, and background (BA) locations, the research revealed that the concentrations of these metals increase from BA areas through SU areas to peak in the IN zone, with the concentration order being $As < Pb < Zn < Mn$. Spatial distribution analysis of these metals demonstrated significant variations among different areas, with the highest concentrations of As observed northwest of the IN zone and Pb and Zn in the southeast. Mn exhibited high concentrations within the IN zone and certain hotspots in nearby SU areas. The pollution levels of these metals were assessed using the geoaccumulation index (Igeo), enrichment factor (EF), and pollution load index (PLI), which are widely accepted methods in environmental science. Zn and Pb showed moderate to "solid" pollution levels in the IN zone, whereas Mn and As indicated lower pollution levels. Zn, Pb, and As sources primarily stem from industrial activities such as zinc coating production, thermal insulation products, and cement manufacturing. Mn sources include industrial activities, vehicular emissions, and geological factors. The findings underscore the critical need for enhancing emission controls and efficiently managing waste systems to minimize pollution. This is essential to safeguard community health and maintain a healthy living environment for residents and industries in Da Nang and similar regions globally. Effective pollution control measures not only mitigate environmental degradation but also contribute to sustainable development goals by promoting cleaner production practices and reducing adverse health impacts associated with heavy metal exposure. Importantly, these measures offer a hopeful future where cleaner environments and healthier communities are the norm, fostering a sense of optimism and a belief in the possibility of positive change. Future research directions could focus on longitudinal studies to monitor trends in metal pollution and evaluate the effectiveness of implemented mitigation strategies over time.

Keywords: *Metal, road dust, pollution, source, industrial zone, Da Nang.*

1. Mở đầu

Đường phố là nơi có khả năng tiếp nhận nhiều nguồn chất thải khác nhau, bao gồm từ giao thông, nông nghiệp, công nghiệp và các hoạt động sản xuất khác của con người [1, 2]. Do đó, bụi đường có khả năng cao chứa nhiều kim loại từ các nguồn thải đó. Các kim loại này, đặc biệt là kim loại nặng, có thể tích tụ trong môi trường và gây ra những tác động tiêu cực đến hệ sinh thái và sức khỏe con người [3, 4]. Theo một nghiên cứu, hàm lượng chì (Pb) trong bụi đường tại một

số khu vực đô thị có thể vượt quá mức cho phép 5 lần [5]. Asen (As), Mangan (Mn) và kẽm (Zn) cũng thường được phát hiện với nồng độ cao trong các mẫu bụi đường, làm suy giảm chất lượng đất và nước và có thể xâm nhập vào chuỗi thức ăn [6, 7]. Những kim loại nặng này có thể gây ra những vấn đề nghiêm trọng về sức khỏe như bệnh ung thư, rối loạn thần kinh và các bệnh tim mạch [7, 8].

Trong những năm gần đây, vấn đề tác động của kim loại từ bụi đường đến hệ sinh thái và sức khỏe

cộng đồng đã thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng mức độ ô nhiễm kim loại trong bụi đường có thể gây ra nhiều vấn đề nghiêm trọng. Chẳng hạn, một nghiên cứu ở Bắc Kinh, Trung Quốc cho thấy nồng độ kim loại nặng trong bụi đường vượt quá mức an toàn và có thể gây ra các vấn đề sức khỏe như rối loạn hô hấp và các bệnh lý về da [9]. Tương tự, một nghiên cứu khác ở Dhanbad, Ấn Độ cũng ghi nhận sự ô nhiễm kim loại nặng trong bụi đường có liên quan đến gia tăng các bệnh lý mãn tính ở cư dân sống gần các khu công nghiệp [10].

Ở Việt Nam, đã có một số nghiên cứu thực hiện về chủ đề “Kim loại trong bụi đường và tác động của chúng đến hệ sinh thái và sức khỏe con người” ở khu vực miền Bắc và miền Nam. Những nghiên cứu này đã tiến hành phân tích nồng độ kim loại trong bụi đường, đánh giá nguồn gốc và phân bố của chúng, cũng như tác động đến môi trường và sức khỏe con người. Chẳng hạn, nghiên cứu tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh cho thấy nồng độ kim loại nặng trong bụi đường khá cao, đặc biệt là các kim loại như Pb, As, Zn và Mn [11-15]. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào được thực hiện ở miền Trung Việt Nam. Hơn nữa, chưa có nghiên cứu nào tập trung vào bụi đường trong khu công nghiệp với khoảng cách giữa các mẫu bụi đường dưới 2 km, điều này làm hạn chế khả năng đánh giá chi tiết về sự phân bố và nguồn gốc của các kim loại này.

Đà Nẵng, một trung tâm kinh tế và xã hội quan trọng ở vùng Trung Bộ của Việt Nam, đóng vai trò then chốt trong ngành công nghiệp, thương mại, du lịch và dịch vụ. Với vị trí ven biển, cảng

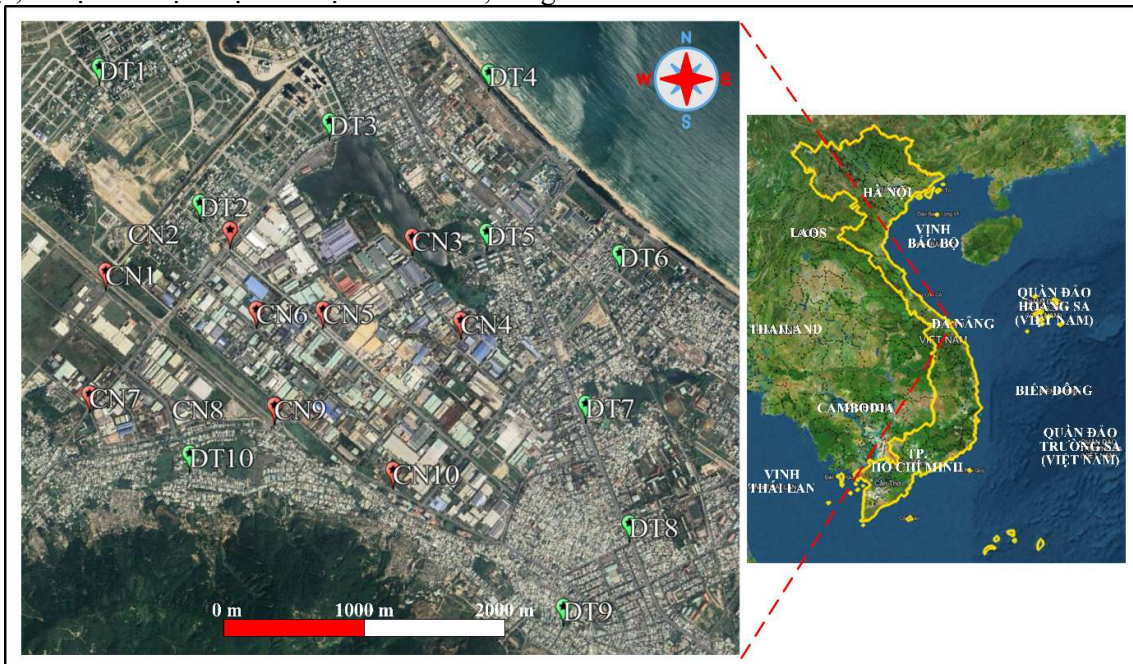
biển và điểm nối giao thông quan trọng, thành phố này đóng góp không nhỏ vào hoạt động thương mại nội địa và quốc tế [16]. Do đó, việc hiểu rõ mức độ ô nhiễm, phân bố nguồn phát thải của các kim loại trong bụi đường là rất quan trọng để đánh giá các nguy cơ môi trường và sức khỏe tiềm ẩn đối với cộng đồng địa phương. Tuy nhiên, việc nghiên cứu về sự ô nhiễm bụi đường bởi các kim loại nặng tại Đà Nẵng hiện vẫn còn hạn chế. Hơn nữa, việc tìm hiểu về sự ô nhiễm bởi các kim loại nặng ở vùng Trung Bộ cũng có thể cung cấp thông tin quý giá về sự khác biệt về mức độ ô nhiễm và nguồn gốc, đồng thời góp phần vào việc hiểu rõ toàn diện hơn về các thách thức môi trường trên khắp Việt Nam.

Nghiên cứu này được thực hiện ở thành phố Đà Nẵng với hai mục tiêu chính: 1) Đánh giá mức độ ô nhiễm của bốn kim loại trong bụi đường; 2) Đánh giá sự phân bố của kim loại trong bụi đường giữa khu công nghiệp và khu đô thị. Qua đó, nghiên cứu sẽ cung cấp những thông tin khoa học quan trọng, hỗ trợ công tác quản lý môi trường và bảo vệ sức khỏe cộng đồng ở khu vực này.

2. Phương pháp

2.1. Thu thập mẫu bụi đường

Nghiên cứu đã thực hiện thu thập 10 mẫu bụi đường trong khu công nghiệp (KCN) lớn nhất thành phố Đà Nẵng (CN1-CN10) và 10 mẫu trên các con đường thuộc khu vực đô thị nằm xung quanh KCN này (DT1-DT10) (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ khu vực nghiên cứu (DT: Đô thị, CN: Công nghiệp)

Ngoài ra, nghiên cứu còn thu thập 2 mẫu bụi đường làm mẫu nền, mẫu một ở bán đảo Sơn Trà, phía Đông Bắc và cách KCN 15km và mẫu hai ở khu vực đồi núi, nằm ở phía Tây Bắc và cách KCN 8km.

Quá trình thu thập mẫu tuân theo một quy trình chuẩn hóa gồm bốn bước liên tiếp. Đầu tiên, xác định vị trí lấy mẫu thông qua khảo sát hiện trường và sử dụng Google Earth. Sau đó, sử dụng các dụng cụ bằng nhựa (chổi, xẻng, rây và túi) để gom bụi từ đường với trọng lượng trung bình 1,5 kg tại mỗi địa điểm lấy mẫu. Tiếp đó, thông tin liên quan đến các mẫu thu thập được ghi chép tỉ mỉ, bao gồm: tọa độ, địa chỉ, thời gian thu thập và điều kiện môi trường hiện tại. Cuối cùng, các mẫu được vận chuyển đến phòng thí nghiệm để phân tích. Tất cả các mẫu được thu thập vào tháng 1 năm 2024, trong khoảng thời gian lấy mẫu từ 8:30 sáng đến 4:30 chiều trong ngày thu thập. Thời tiết duy trì nắng liên tục trong suốt khoảng thời gian này, không có mưa được ghi nhận trong 72 giờ trước đó.

2.2. Phân tích mẫu

Quy trình xử lý và phân tích mẫu được thực hiện qua bốn bước chính. Đầu tiên, các mẫu bụi đường thu thập từ môi trường được làm khô tự nhiên ở nhiệt độ phòng, sau đó được đồng nhất và sàng qua sàng nylon 150 mesh. Tiếp theo, mỗi mẫu 0,5 g trải qua quá trình tiêu hóa ướt với hỗn hợp của HNO₃ và HCl theo tỷ lệ 1:2 trong 4 giờ bằng cách sử dụng gia nhiệt vi sóng với thiết bị Teflon để chiết xuất. Sau khi chiết xuất, mẫu được lọc qua bộ lọc 0,45 μm trước khi tiến hành phân tích bốn hợp chất mục tiêu bằng ICP-MS. Việc tiền xử lý các vật liệu cần phân tích không được xem là cần thiết vì chúng đã đáp ứng các tiêu chuẩn yêu cầu (Merck). Ngoài ra, một mẫu dung dịch trắng được phân tích cùng với bộ mẫu để đảm bảo không có hoặc có rất ít kim loại nặng (HMs) dưới giới hạn phát hiện trong các mẫu phân tích. Thêm vào đó, một trong mỗi 20 mẫu sẽ được phân tích trùng lặp, cho thấy sự khác biệt dưới 10% đối với tất cả các hợp chất mục tiêu. Quá trình chiết xuất và phân tích bốn kim loại nặng được thực hiện bằng ICP-MS (7700x, Agilent, USA), tuân theo các tiêu chuẩn đã được thiết lập như phương pháp USEPA 3051A [17], phương pháp 200.8, Phiên bản 5.4 [18] và phương pháp EPA 6020B [19]. Cuối cùng, để kiểm soát và đánh giá độ chính xác của phân tích, nghiên cứu này áp dụng các biện pháp kiểm soát chất lượng, bao gồm sử dụng mẫu bụi đô thị được

chứng nhận (SRM 1648a) làm vật liệu tham khảo [11, 20]. Nghiên cứu này sử dụng chỉ số tích lũy địa chất (*I_{geo}*) và hệ số làm giàu (EF) để đánh giá mức độ ô nhiễm của từng kim loại (KL) trong bụi đường. Hai chỉ số này đã được áp dụng rộng rãi bởi các nghiên cứu trước đây để đánh giá mức độ ô nhiễm của KL trong bụi đường [11, 21-23]

2.3. Đánh giá mức độ ô nhiễm

Bảng 1. Phân loại chỉ số tích lũy địa chất (*I_{geo}*), tiêu chuẩn cho hệ số làm giàu (EF) và tải lượng ô nhiễm (PLI) được sử dụng để đánh giá tình trạng ô nhiễm kim loại nặng trong bụi đường

Chỉ số	Phân loại	Mô tả	Trích dẫn
<i>I_{geo}</i>	<i>I_{geo}</i> ≤ 0	Không ô nhiễm	[24]
	0 < <i>I_{geo}</i> ≤ 1	Không ô nhiễm đến ô nhiễm vừa	
	1 < <i>I_{geo}</i> ≤ 2	Ô nhiễm vừa	
	2 < <i>I_{geo}</i> ≤ 3	Ô nhiễm vừa đến ô nhiễm mạnh	
	3 < <i>I_{geo}</i> ≤ 4	Ô nhiễm mạnh	
	4 < <i>I_{geo}</i> ≤ 5	Ô nhiễm mạnh đến cực kỳ ô nhiễm	
	<i>I_{geo}</i> > 5	Cực kỳ ô nhiễm	
EF	EF < 1	Không làm giàu	[25]
	1 ≤ EF < 3	Làm giàu nhẹ	
	3 ≤ EF < 5	Làm giàu vừa	
	5 ≤ EF < 10	Làm giàu vừa - nghiêm trọng	
	10 ≤ EF < 25	Làm giàu nghiêm trọng	
	25 ≤ EF < 50	Làm giàu rất nghiêm trọng	
	EF ≥ 50	Làm giàu cực kỳ nghiêm trọng	
PLI	PLI ≤ 1	Không ô nhiễm	[26]
	1 < PLI ≤ 2	Không đến ô nhiễm vừa	
	2 < PLI ≤ 3	Ô nhiễm vừa	
	3 < PLI ≤ 4	Ô nhiễm vừa đến ô nhiễm cao	
	4 < PLI ≤ 5	Ô nhiễm cao	
	PLI > 5	Ô nhiễm rất cao	

Chỉ số *I_{geo}* cung cấp “chỉ báo định lượng” chính xác về mức độ ô nhiễm, giúp so sánh một cách đơn giản giữa mức độ ô nhiễm hiện tại và lịch sử (Kowalska, Mazurek, Gąsiorek, & Zaleski, 2018). Theo chỉ số *I_{geo}*, mức độ ô nhiễm của KL trong bụi đường được phân loại thành bảy cấp độ dựa trên các giá trị *I_{geo}*, như được trình bày trong Bảng 1. Chỉ số *I_{geo}* được tính toán bằng công thức (1).

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_i}{1.5B_i} \right) \quad (1)$$

trong đó, *C_i* và *B_i* lần lượt đại diện cho nồng độ kim loại *i* trong bụi đường và mẫu nền.

Chỉ số EF đo lường mức độ làm giàu của KL so với nồng độ nền trong bụi đường. EF cho thấy mức độ làm giàu của KL có thể do ảnh hưởng nhân tạo. Nhiều nghiên cứu đã áp dụng chỉ số này để đánh giá nồng độ KL trong bụi đường [27-29]

Chỉ số EF được đánh giá dựa trên phân loại được nêu trong Bảng 1 [Cited in 25]. Sắt (Fe) được chọn làm nguyên tố tham chiếu cho tính toán EF vì KL này tương đối dồi dào trong vỏ Trái Đất. Chỉ số EF được tính toán bằng Công thức (2).

$$EF = \frac{\left(\frac{C_i}{C_{Fe}}\right)_{Mau}}{\left(\frac{C_i}{C_{Fe}}\right)_{Nen}} \quad (2)$$

Trong đó, $(C_i/C_{Fe})_{Mau}$ và $(C_i/C_{Fe})_{Nen}$ lần lượt đại diện cho tỷ lệ nồng độ KL được đánh giá (C_i) so với nồng độ Fe (C_{Fe}) trong mẫu bụi đường và mẫu nền.

Để đánh giá tổng thể mức độ ô nhiễm gây ra bởi 4 KL, nghiên cứu này sử dụng “Chỉ số tải lượng ô nhiễm” (PLI). PLI là một chỉ số đánh giá tích hợp cung cấp một biện pháp tổng quát về mức độ ô nhiễm gây ra bởi nhiều chất ô nhiễm [30]. Chỉ số này đã được áp dụng trong nhiều nghiên cứu trước đây [26, 31]. Chỉ số PLI được đánh giá dựa trên phân loại (6 mức độ) được nêu trong Bảng 1 [Cited in 26]. Chỉ số PLI được tính bằng công thức (3) và (4).

$$P_i = \frac{C_i}{C_b} \quad (3)$$

$$PLI = \sqrt[n]{P_1 \times P_2 \times P_3 \times \dots \times P_n} \quad (4)$$

trong đó P_i là chỉ số ô nhiễm của kim loại i , C_i đại diện cho nồng độ của kim loại i và C_b là giá trị nền của kim loại i .

2.4. Phân tích nguồn của kim loại

Nghiên cứu này sử dụng kết hợp nhiều phương pháp để xác định nguồn gốc của các kim loại trong bụi đường. Đầu tiên, nghiên cứu áp dụng “hệ số biến thiên” (CV) để phân loại các kim loại theo nguồn gốc tự nhiên hay nhân tạo. Các nghiên cứu trước đây đã sử dụng chỉ số CV để xác định nguồn gốc của kim loại trong bụi đường với các giả thuyết như sau: $CV \leq 15\%$ chỉ ra sự biến đổi thấp, thường liên quan đến các nguồn gốc tự nhiên; $CV > 35\%$ cho thấy sự biến đổi cao, thường liên quan đến các nguồn gốc không đồng nhất bị ảnh hưởng bởi các hoạt động của con người tại địa phương; và CV dao động từ 15-35% cho thấy sự hỗn hợp giữa nguồn gốc tự nhiên và hoạt động của con người [32-35]. Tiếp theo, nghiên cứu sử dụng phân tích “tương quan

Spearman” và phân tích “cụm phân cấp” để xác định những kim loại có khả năng cùng nguồn gốc. Giả thuyết đưa ra là, những cặp kim loại có mối tương quan càng cao thì khả năng có cùng nguồn phát thải càng lớn những kim loại thuộc cùng một cụm/phân nhóm và có khoảng cách thấp thì khả năng có cùng nguồn phát thải càng cao [4, 36].

Tổng hợp kết quả từ “hệ số biến thiên (CV)”, “tương quan Spearman” và “cụm phân cấp” sẽ được đối chiếu với kết quả phân tích độ phân tán của kim loại và kết quả điều tra thực địa để đưa ra những nhận định chính xác về nguồn gốc của các kim loại trong bụi đường.

2.5. Phân tích và trình bày dữ liệu

Phân tích dữ liệu của chúng tôi được thực hiện với độ chính xác tỉ mỉ. Dữ liệu thống kê, bao gồm các giá trị trung bình, độ lệch chuẩn, giá trị tối thiểu và tối đa, độ nhọn và độ lệch, đã được tính toán bằng phần mềm SPSS_V21 mạnh mẽ trên Windows. Nghiên cứu sử dụng Excel 2018 đáng tin cậy để tính toán các chỉ số ô nhiễm như Igeo, EF, PLI, PER, HI và TCR. Các biểu đồ hiển thị các chỉ số này được thiết kế bằng phần mềm Origin 2018 chính xác. Cần lưu ý rằng những giá trị ngoại lệ vượt quá 3 độ lệch chuẩn từ giá trị trung bình đã được loại bỏ khỏi các biểu đồ hộp hoặc phân bố không gian mô tả nồng độ kim loại nặng (HM).

Chúng tôi đã sử dụng các kỹ thuật tiên tiến để lập bản đồ phân bố không gian của nồng độ các nguyên tố. QGIS 3.24 được sử dụng cho mục đích này và các bản đồ biến thiên không gian được tạo ra bằng phương pháp nội suy Kriging tinh vi. Trước khi lập bản đồ, chúng tôi đã đánh giá sự biến đổi không gian trong nồng độ bằng các phương pháp địa thống kê. Các Semivariogram thực nghiệm đã được phát triển để tiết lộ sự phụ thuộc không gian và một mô hình thích hợp được lắp đặt bằng phương pháp bình phương tối thiểu có trọng số và các tham số khoảng cách.

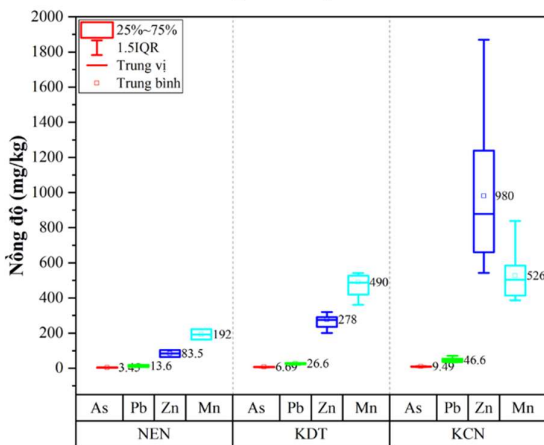
Ngoài ra, nghiên cứu còn sử dụng phần mềm R (phiên bản 4.4.0) để phân tích tương quan Spearman, phân tích cụm sử dụng phương pháp phân cấp và phân tích thành phần chính (PCA).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc điểm của kim loại trong bụi đường ở khu vực nghiên cứu

Kết quả phân tích nồng độ của 22 mẫu bụi đường (10 mẫu ở KCN, 10 mẫu ở KĐT và 2 mẫu

NEN) trong nghiên cứu này được thể hiện ở Hình 2. Nồng độ của tất cả các kim loại đều có xu hướng tăng dần từ khu vực NEN đến KĐT và cao nhất ở KCN. Cụ thể, nồng độ trung bình của từng kim loại ở từng khu vực (NEN, KĐT, KCN) lần lượt là: As (3.45, 6.69, 9.49 mg/kg), Pb (13.6, 26.6, 46.6 mg/kg), Zn (83.5, 278, 980 mg/kg) và Mn (192, 490, 526 mg/kg). Kết quả này cho thấy nồng độ trung bình của kim loại ở KĐT cao hơn so với NEN từ 1.94 lần (As) đến 3.33 lần (Zn), và KCN cao hơn KĐT từ 1.08 lần (Mn) đến 3.53 lần (Zn). Kết quả từ Hình 2 còn cho thấy một xu hướng rõ ràng khác: ở từng khu vực, thứ tự nồng độ các kim loại là $As < Pb < Zn < Mn$, ngoại trừ ở KCN, nơi cho kết quả nồng độ $Zn > Mn$



Hình 2. Nồng độ 4 kim loại (As, Pb, Zn và Mn) ở khu vực NEN, KĐT và KCN

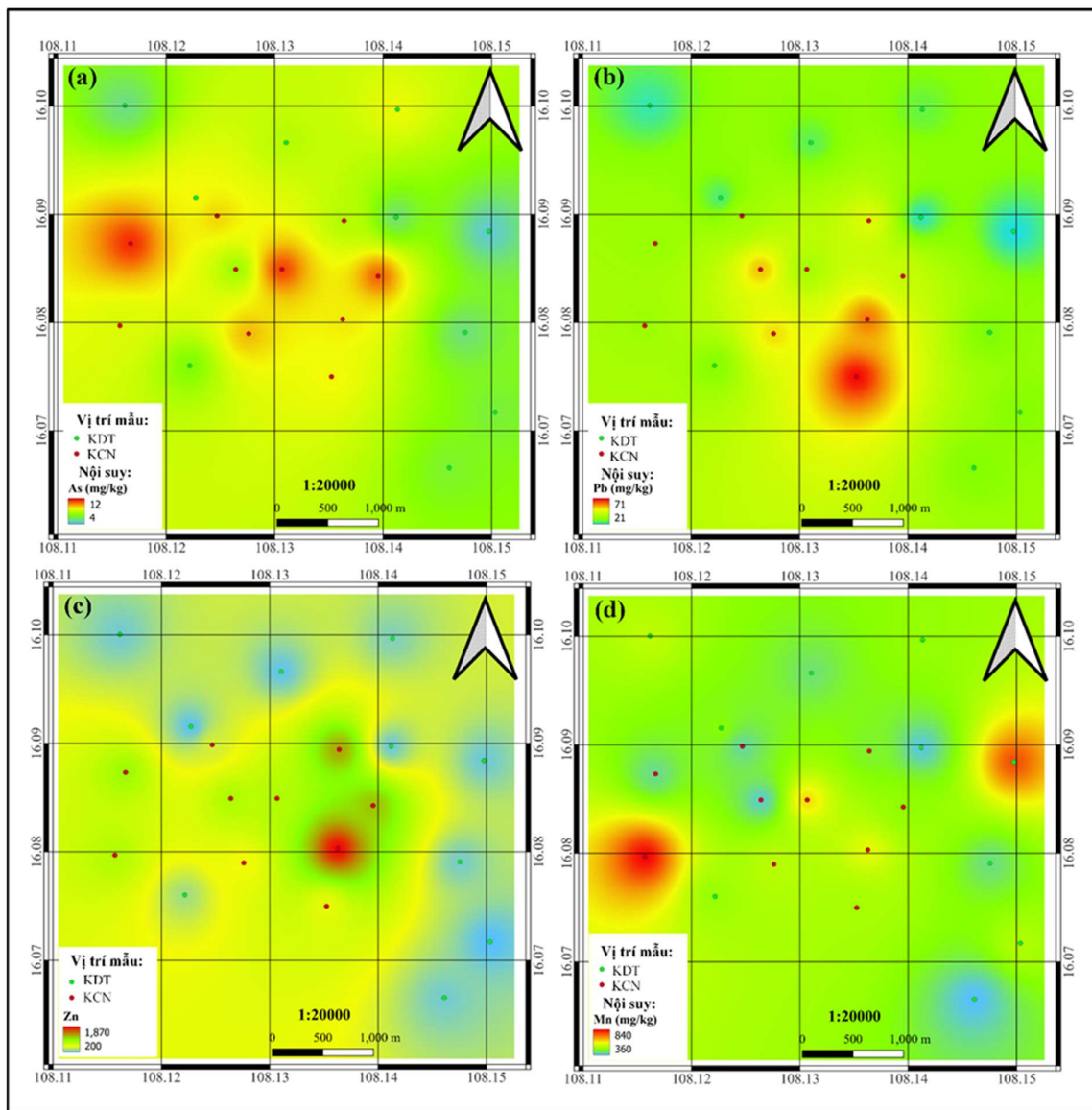
Hình 3 trình bày phân bố không gian của bốn kim loại As (Hình 3a), Pb (Hình 3b), Zn (Hình 3c) và Mn (Hình 3d) ở KCN và KĐT, dựa trên kết quả nội suy nồng độ của các kim loại này. Kết quả cho thấy một xu hướng chung là nồng độ của các kim loại ở KCN cao hơn so với KĐT. Tuy nhiên, cũng có một số khác biệt trong phân bố nồng độ của các kim loại. Nồng độ As tập trung cao ở khu vực phía Tây Bắc của KCN, trong khi nồng độ Pb cao hơn ở phía Đông Nam của KCN. Tương tự như Pb, nồng độ Zn cũng cao hơn ở phía Đông của KCN. Đối với Mn, ngoài việc có nồng độ cao trong KCN, còn xuất hiện một điểm nóng ở KĐT.

Kết quả phân tích nồng độ và phân bố không gian của 4 kim loại (As, Pb, Zn, và Mn) với xu hướng giảm dần nồng độ từ khu công nghiệp đến

khu đô thị phụ cận, nhấn mạnh sự đóng góp đáng kể của các hoạt động công nghiệp vào ô nhiễm kim loại trong bụi đường. Phát hiện này phù hợp với nghiên cứu ở miền nam Việt Nam [11, 12], cũng như nhiều nghiên cứu trên thế giới [3, 32, 37-39]. Bên cạnh đó, thứ tự sắp xếp nồng độ của các kim loại trong nghiên cứu này ($As < Pb < Zn < Mn$) cũng cho thấy sự tương đồng với rất nhiều nghiên cứu khác trên thế giới [3]. Kết quả tương đồng này có thể được xem là một chỉ số quan trọng nhằm tăng cường độ tin cậy cho kết quả của nghiên cứu này.

Sự phân bố không gian của các kim loại khác nhau có sự khác nhau có thể được giải thích do nguồn thải của các kim loại đó khác nhau, đặc biệt là vị trí phân bố các nhà máy trong khu công nghiệp. Hoạt động của các nhà máy tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch ở KCN có thể là nguồn thải gây ra sự phân bố nồng độ As trong KCN cao hơn so với KĐT. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu ở Trung Quốc [40], hay Ấn Độ [41]. Các nghiên cứu này đã chỉ ra rằng As có thể được giải phóng dưới dạng khí trong quá trình đốt cháy than và có thể lắng đọng xuống đất hoặc nước qua bụi và khí thải.

Sự phân bố đáng kể nồng độ của Pb và Zn ở khu vực phía Đông và Đông Bắc của khu công nghiệp (KCN) có thể do mật độ các nhà máy tại khu vực này cao hơn so với các khu vực khác. Đặc biệt, sự hiện diện của nhiều nhà máy thép mạ kẽm, sản xuất sản phẩm cách nhiệt và cơ sở sản xuất sản phẩm thép mạ kẽm, cùng với các nhà máy sản xuất xi măng, đóng vai trò quan trọng trong việc phát thải Pb và Zn ra môi trường. Trên thế giới, đã có nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng hoạt động của các nhà máy sản xuất hoặc cán tôn thép thải ra môi trường một lượng đáng kể Pb và Zn [42]. Ngoài ra, các nhà máy xi măng cũng góp phần ô nhiễm Zn và Pb trong môi trường đất ở nhiều quốc gia như Nigeria [43], Morocco [44] và Ả Rập Saudi [45]. Những nghiên cứu này nhấn mạnh rằng hoạt động công nghiệp, đặc biệt là sản xuất thép mạ kẽm và xi măng, là nguồn phát thải chính của Pb và Zn, dẫn đến ô nhiễm môi trường nghiêm trọng.



Hình 3. Phân bố không gian của 4 kim loại (As-(a), Pb-(b), Zn-(c), Mn-(d)) trong bụi đường thu được tại khu vực nghiên cứu.

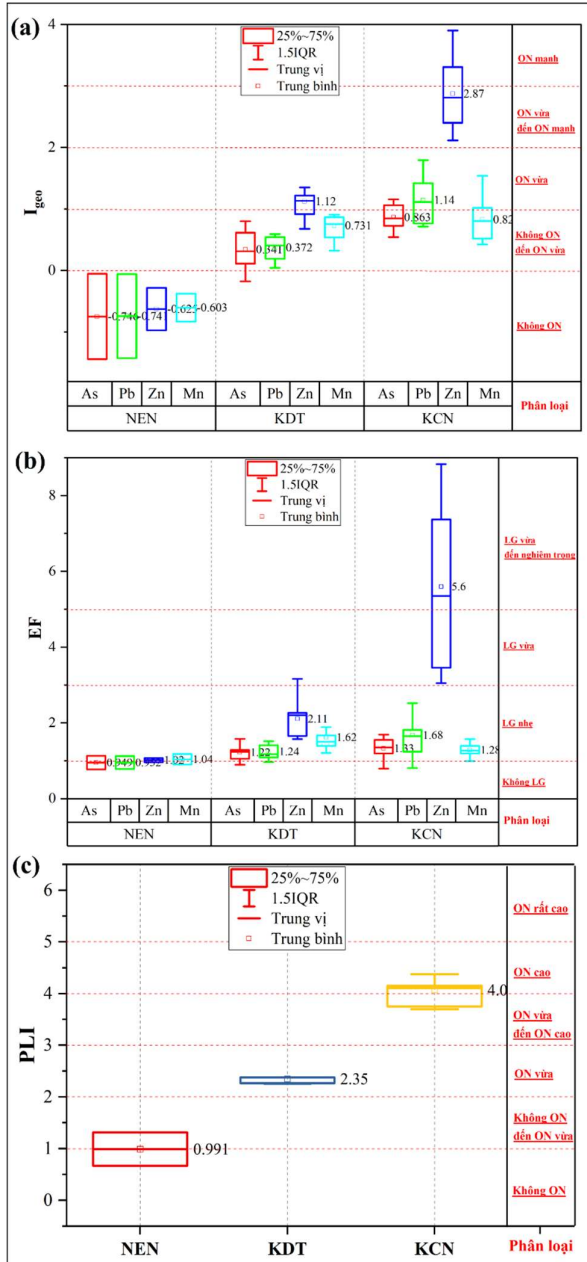
Phân bố không gian của Mn trong KCN không có sự khác biệt đáng kể so với KDT, với một số khu vực bên ngoài KCN có nồng độ Mn tương đối cao. Điều này cho thấy nồng độ Mn trong bụi đường không chỉ có nguồn gốc từ KCN mà còn từ các nguồn khác như sự đóng góp từ các nguồn địa chất tự nhiên và khí thải xe cộ. Các nguồn địa chất tự nhiên có thể giải phóng Mn vào môi trường thông qua hoạt động phong hóa và xói mòn, trong khi khí thải từ phương tiện giao thông, đặc biệt là các động cơ sử dụng xăng và dầu diesel, cũng đóng góp một phần đáng kể vào ô nhiễm Mn. Nghiên cứu của Jiang, Ren [46] đã chỉ ra kết luận tương tự, nhấn mạnh rằng sự phân bố của Mn trong môi trường chịu ảnh hưởng từ nhiều nguồn khác nhau, không chỉ từ các hoạt động công nghiệp.

3.2. Mức độ ô nhiễm của bụi đường

Hình 4 trình bày kết quả phân tích mức độ ô nhiễm của từng kim loại (theo chỉ số I_{geo} - Hình 4a, và EF - Hình 4b), và mức độ ô nhiễm tổng thể các kim loại (theo chỉ số PLI - Hình 4c) ở khu vực nghiên cứu. Kết quả cho thấy giá trị của cả ba chỉ số (I_{geo} , EF, và PLI) đều có xu hướng tương tự như xu hướng của nồng độ các kim loại, cao dần từ khu vực NEN, đến KDT và cao nhất ở KCN.

Theo chỉ số I_{geo} (Hình 4a), ở khu vực nền, cả bốn kim loại đều ở mức “Không ô nhiễm”, với giá trị I_{geo} trung bình của các kim loại ở khu vực này là: As (-0.746), Pb (-0.741), Zn (-0.625), và Mn (-0.603). Ở KDT, ngoại trừ Zn (1.12) ở mức “Ô nhiễm vừa”, các kim loại còn lại đều ở mức “Không ô nhiễm đến ô nhiễm vừa”, với giá trị

Igeo trung bình là: As (0.314), Pb (0.372) và Mn (0.731). Ở KCN, Zn gây chú ý với giá trị Igeo trung bình của kim loại này, 2.87, nằm ở mức “Ô nhiễm vừa đến ô nhiễm mạnh”, thậm chí một số điểm cho thấy chỉ số Igeo của Zn ở mức “Ô nhiễm mạnh”. Trong khi đó, giá trị Igeo của Pb trong KCN chuyên lên mức “Ô nhiễm vừa” thay vì mức “Không ô nhiễm đến ô nhiễm vừa” như ở KDT.



Hình 4. Chỉ số ô nhiễm của các kim loại tại khu vực nghiên cứu: (a) Chỉ số tích lũy địa chất (Igeo), (b) Hệ số độ giàu (EF), (c) Chỉ số tải lượng ô nhiễm (PLI).

Đối với chỉ số EF (Hình 4b), Zn tiếp tục thu hút sự chú ý khi giá trị EF trung bình của kim loại này, 5.6 ở mức “Làm giàu vừa đến nghiêm trọng” ở KCN, trong khi các kim loại khác chỉ ở mức

“Làm giàu nhẹ”. Ở KDT, cả bốn kim loại đều ở mức “Làm giàu nhẹ”, trong đó giá trị EF trung bình của Zn (2.11) là cao nhất. Còn ở khu vực nền, giá trị EF trung bình của cả bốn kim loại ở mức “Không làm giàu”.

Kết quả đánh giá mức độ ô nhiễm tổng hợp từ bốn kim loại theo chỉ số PLI cho thấy KCN có mức ô nhiễm cao nhất, dao động trong mức “Ô nhiễm vừa đến ô nhiễm cao” và “Ô nhiễm cao”, với giá trị PLI trung bình 4.0. Ở KDT, mức độ ô nhiễm tổng hợp là “Ô nhiễm vừa” với giá trị PLI trung bình 2.35. Trong khi đó, chỉ số PLI ở khu vực nền không cho thấy sự ô nhiễm.

Tóm lại, khu vực nền của nghiên cứu này không cho thấy sự ô nhiễm của từng loại kim loại cũng như ô nhiễm tổng hợp của các kim loại. Trong khi đó, KCN cho thấy mức độ ô nhiễm cao, với sự chú ý tập trung vào Zn và Pb. KDT cho thấy mức độ ô nhiễm vừa phải.

Ở khu vực nghiên cứu, giá trị Igeo và EF trong KCN được quan sát cao hơn so với KDT được quan sát cao hơn so với các khu dân cư (KDT), tương tự với kết quả của các nghiên cứu trước đây được thực hiện ở miền Nam Việt Nam [12, 47]. Các kết quả tương tự đã được báo cáo trong các nghiên cứu được thực hiện ở các khu vực công nghiệp trên toàn thế giới, cho thấy mức độ ô nhiễm cao gần các nguồn phát thải là các khu công nghiệp và giảm dần theo khoảng cách [32, 37-39]. Các giá trị Igeo và EF tăng cao trong các khu vực KCN có thể là do các hoạt động công nghiệp phát thải các kim loại này trong khu vực này, sau đó phân tán ra các khu vực xung quanh.

Nghiên cứu đã xác định được nồng độ Zn, đặc biệt cao tại các địa điểm gần các nhà máy mạ kẽm, sản xuất sản phẩm cách nhiệt và các cơ sở sản xuất sản phẩm thép mạ kẽm, cho thấy các nguồn phát thải Zn tiềm năng vào môi trường. Các ngành công nghiệp này thường sử dụng hoặc sản xuất các vật liệu chứa hàm lượng Zn cao, có thể được phát thải vào môi trường trong quá trình sản xuất hoặc xử lý [48-50].

Nghiên cứu đã phát hiện nồng độ Zn đặc biệt cao tại một số địa điểm gần các cơ sở mạ kẽm, sản xuất sản phẩm cách nhiệt và thép mạ kẽm. Các ngành công nghiệp này thường sử dụng hoặc sản xuất các vật liệu có hàm lượng Zn cao, có thể thải ra môi trường trong quá trình sản xuất hoặc xử lý disposal [48-50]. Do đó, để giảm thiểu ô nhiễm Zn, cần tăng cường các biện pháp kiểm soát phát thải và xây dựng hệ thống quản lý chất thải hiệu quả tại các nhà máy.

3.3. Phân tích nguồn

Bảng 2. Kết quả phân tích “Hệ số biến thiên (CV)” và giá trị P của kiểm định Shapiro-Wilk của các kim loại trong bụi đường khu vực nghiên cứu

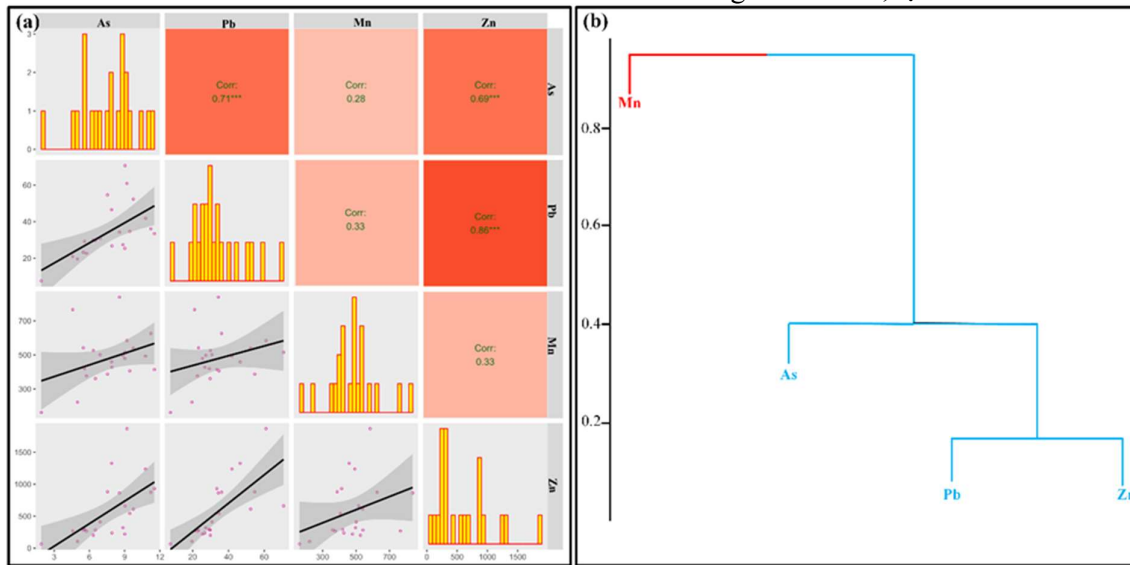
Element	As	Pb	Mn	Zn
CV (%)	31.1	42.9	31.3	79.8
Shapiro-Wilk (P-Value)	0.210	0.052	0.174	0.011

Bảng 2 cung cấp tóm tắt kết quả thống kê của bốn nguyên tố được thu thập từ 20 mẫu trong khu vực nghiên cứu. Các chỉ số được phân tích bao gồm “Hệ số biến thiên (CV)”, và giá trị P của kiểm định Shapiro-Wilk. Kết quả cho thấy, giá trị CV dao động từ 31.1% đến 79.8%, với Mn và As có tỷ lệ thấp nhất (lần lượt là 31.1% và 31.3%), tiếp theo là Pb với 42.9%, và cao nhất là Zn với 79.8%. Ngoài ra, kiểm định tính chuẩn cho thấy phân bố dữ liệu của As, Pb, và Mn theo

phân bố chuẩn ($P \geq 0.05$), trong khi Zn có phân bố không chuẩn ($P < 0.05$).

Hình 5 trình bày kết quả phân tích tương quan Spearman (Hình 5a) và phân tích phân cụm giữa các kim loại trong mẫu bụi đường tại khu vực nghiên cứu. Kết quả phân tích tương quan Spearman cho thấy As, Pb và Zn có mối tương quan mạnh và có ý nghĩa thống kê ($r > 0.7$, $P \leq 0.05$). Cụ thể, Pb và Zn có mối tương quan mạnh nhất ($r = 0.86$), tiếp theo là As và Pb ($r = 0.71$), và Zn và As ($r = 0.70$). Ngược lại, Mn có mối tương quan yếu và không có ý nghĩa thống kê với các kim loại khác ($r \leq 0.33$, $P > 0.05$).

Sơ đồ phân cấp nhóm theo cụm của bốn kim loại (As, Pb, Zn, và Mn) được chia thành hai cụm chính (Cụm 1 và Cụm 2) (Hình 5b). Cụm 1 chỉ bao gồm Mn, trong khi Cụm 2 bao gồm As, Pb, và Zn. Trong Cụm 2, sự kết hợp ban đầu xảy ra giữa Pb và Zn ở khoảng cách 0.185, hình thành nhóm đầu tiên. Sau đó, nhóm Pb-Zn kết hợp với As ở khoảng cách 0.400, tạo thành nhóm thứ hai.



Hình 4. Hệ số tương quan (a) và phân cụm giữa các kim loại trong mẫu bụi đường tại khu vực nghiên cứu (b). Corr: Correlation, ***: P-value ≤ 0.05 .

Với giá trị CV dao động từ 15-35%, cho thấy hai kim loại As và Mn có sự hỗn hợp giữa nguồn gốc tự nhiên và hoạt động của con người. Trong lúc đó Pb và Zn cho thấy sự biến đổi cao khi có chỉ số CV lần lượt là 42.9% và 79.8%, kết quả này cho thấy nồng độ của hai kim loại này trong bụi đường có nguồn gốc chủ yếu từ các hoạt động của con người, đặc biệt là Zn.

Kết quả phân tích “tương quan Spearman” và “cụm phân cấp” cho thấy Zn, Pb và As vừa có mối tương quan mạnh, vừa được phân thành một cụm, đặc biệt Zn và Pb có mối tương quan cao nhất và được phân thành một nhóm với khoảng

cách nhỏ. Do đó, khả năng cao là Zn, Pb và As trong bụi đường có cùng nguồn, đặc biệt là Zn và Pb. Mn do có mối tương quan với các kim loại khác thấp và kim loại này được phân thành một cụm riêng biệt, nên kim loại này có thể có những nguồn khác so với Zn, Pb và As.

Đối chiếu với kết quả phân bố không gian (Phần 4.1), nồng độ của các kim loại Zn, Pb và As cao trong các khu công nghiệp (KCN) sau đó giảm dần ra khu đô thị (KDT), cho thấy rằng nồng độ các kim loại này có nguồn gốc chính từ phát thải của các hoạt động trong KCN, đặc biệt là Zn và Pb, sau đó phát tán ra các khu vực xung quanh.

Các hoạt động phát tán các kim loại này có thể đến từ các nhà máy thép mạ kẽm, sản xuất sản phẩm cách nhiệt và cơ sở sản xuất sản phẩm thép mạ kẽm, cùng với các nhà máy sản xuất xi măng (như thảo luận trong Phần 4.1).

Kết hợp kết quả phân tích phân bố không gian của Mn (không có sự khác biệt đáng kể giữa KCN và KĐT), cùng với kết quả phân tích các chỉ số ($CV = 31.3\%$, Mn có mối tương quan thấp và nằm ở một cụm riêng biệt so với các kim loại khác), cho thấy Mn có thể không chỉ phát sinh từ KCN mà còn từ các nguồn khác như các yếu tố địa chất tự nhiên và khí thải xe cộ. Quá trình phong hóa và xói mòn địa chất tự nhiên có thể giải phóng Mn vào môi trường, trong khi khí thải từ phương tiện giao thông, đặc biệt là từ động cơ sử dụng xăng và dầu diesel, cũng góp phần đáng kể vào ô nhiễm Mn. Jiang, Ren [46] cũng đã đưa ra kết luận tương tự, nhấn mạnh rằng sự phân bố của Mn trong môi trường chịu ảnh hưởng từ nhiều nguồn khác nhau, không chỉ từ các hoạt động công nghiệp.

Kết luận, các kim loại trong bụi đường tại khu vực nghiên cứu có nguồn gốc đa dạng. Zn, Pb và As có nguồn gốc chính từ các hoạt động công nghiệp trong khu công nghiệp; trong khi Mn có nguồn gốc đa dạng (phát thải từ khu công nghiệp, khí thải xe cộ và từ yếu tố địa chất tự nhiên)

4. Kết luận

Nghiên cứu về nồng độ và phân bố không gian của các kim loại As, Pb, Zn và Mn trong bụi đường tại khu công nghiệp lớn nhất thành phố Đà Nẵng và vùng phụ cận đã cho thấy nồng độ các kim loại này tăng dần từ khu vực nền (NEN) đến khu đô thị (KĐT) và cao nhất tại khu công nghiệp (KCN).

Mức độ ô nhiễm được xác định rõ ràng qua các chỉ số tích lũy địa chất (I_{geo}), hệ số độ giàu (EF) và chỉ số tải lượng ô nhiễm (PLI). Khu vực NEN không phát hiện ô nhiễm kim loại, KĐT có mức độ ô nhiễm vừa phải, đặc biệt là Zn ở mức "ô nhiễm vừa". Trong khi đó, KCN có mức độ ô nhiễm cao nhất, với Zn và Pb đáng chú ý ở mức "ô nhiễm vừa đến ô nhiễm mạnh". Các kim loại khác cũng thể hiện mức độ ô nhiễm nhưng ở mức "lâm giàu nhẹ".

Nguồn gốc của các kim loại được xác định chủ yếu xuất phát từ các hoạt động công nghiệp. Zn, Pb và As có thể có nguồn gốc chính từ các nhà máy thép mạ kẽm, sản xuất sản phẩm cách nhiệt và xi măng. Ngược lại, Mn có nguồn gốc đa dạng

hơn, kết hợp từ cả hoạt động công nghiệp, khí thải xe cộ và các yếu tố địa chất tự nhiên.

Phân bố không gian của các kim loại này cũng phản ánh rõ ràng sự khác biệt trong nguồn thải và vị trí các nhà máy. Nồng độ As tập trung cao ở phía Tây Bắc của KCN, trong khi Pb và Zn tập trung cao hơn ở phía Đông Nam của KCN. Mn có nồng độ cao trong KCN và cũng có điểm nóng ở KĐT, cho thấy sự ảnh hưởng của nhiều yếu tố khác nhau.

Để giảm thiểu ô nhiễm, cần tăng cường các biện pháp kiểm soát phát thải và xây dựng hệ thống quản lý chất thải hiệu quả tại các nhà máy, đặc biệt là đối với Zn và Pb. Nghiên cứu này cũng nhấn mạnh rằng cần có sự chú ý đặc biệt đến các nguồn phát thải công nghiệp, đồng thời quản lý các yếu tố tự nhiên và khí thải xe cộ góp phần vào ô nhiễm Mn.

Kết quả nghiên cứu này phù hợp với các nghiên cứu trước đây tại miền nam Việt Nam và nhiều nơi trên thế giới, cho thấy tính nhất quán và đáng tin cậy của các phát hiện. Tóm lại, nghiên cứu này khẳng định rằng các hoạt động công nghiệp đóng góp đáng kể vào ô nhiễm kim loại trong bụi đường, đặc biệt là Zn và Pb, trong khi Mn có nguồn gốc từ cả hoạt động công nghiệp và các yếu tố tự nhiên khác.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin cảm ơn các giảng viên và sinh viên từ Khoa Môi trường & Khoa học tự nhiên, Đại học Duy Tân, đã hỗ trợ thu thập các mẫu bụi đường. Nhóm bày tỏ lòng biết ơn đối với sự hỗ trợ quý báu nhận được từ Trường Đại học Duy Tân, nơi đang chuẩn bị kỷ niệm 30 năm thành lập (11 tháng 11 năm 1994 - 11 tháng 11 năm 2024) với sứ mệnh "Phát triển toàn diện, bền vững và ổn định". Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 105.99-2020.15.

Tài liệu tham khảo

- [1] A. Müller, H. Österlund, J. Marsalek, and M. Viklander, The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources, *Sci Total Environ*, Vol. 709, No., pp. 136125, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136125> (2020).
- [2] R. Anaman, et al., Identifying sources and transport routes of heavy metals in soil with different land uses around a smelting site by GIS based PCA and PMF, *Sci Total Environ*, Vol. 823, No., pp. 153759, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153759> (2022).
- [3] S. Roy, et al., A global perspective of the current state of heavy metal contamination in road dust,

- Environmental Science and Pollution Research, Vol. 29, No. 22, pp. 33230-33251, <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18583-7> (2022).
- [4] S. Roy, et al., Ecological and human health risk assessment of heavy metal contamination in road dust in the National Capital Territory (NCT) of Delhi, India, Environmental Science and Pollution Research, Vol. 26, No. 29, pp. 30413-30425, <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06216-5> (2019).
- [5] A. Qadeer, et al., Concentrations, pollution indices and health risk assessment of heavy metals in road dust from two urbanized cities of Pakistan: Comparing two sampling methods for heavy metals concentration, Sustain Cities Soc, Vol. 53, No., pp. 101959, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101959> (2020).
- [6] J. Mohmand, et al., Human exposure to toxic metals via contaminated dust: Bio-accumulation trends and their potential risk estimation, Chemosphere, Vol. 132, No., pp. 142-151, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.004> (2015).
- [7] N. Verma, M. Rachamalla, P.S. Kumar, and K. Dua, Chapter 6 - Assessment and impact of metal toxicity on wildlife and human health, Elsevier, pp. 93-110 (2023).
- [8] K. Rehman, F. Fatima, I. Waheed, and M.S.H. Akash, Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences, J Cell Biochem, Vol. 119, No. 1, pp. 157-184, <https://doi.org/10.1002/jcb.26234> (2018).
- [9] C. Men, et al., Spatial-temporal characteristics, source-specific variation and uncertainty analysis of health risks associated with heavy metals in road dust in Beijing, China, Environ Pollut, Vol. 278, No., pp. 116866, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116866> (2021).
- [10] D.K. Patel and M.K. Jain, Contamination and health risk assessment of potentially harmful elements associated with roadside dust in Dhanbad India, Stoch Environ Res Risk Assess, Vol. 36, No. 2, pp. 389-407, <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02061-6> (2022).
- [11] N.D. Dat, et al., Pollution characteristics, associated risks, and possible sources of heavy metals in road dust collected from different areas of a metropolis in Vietnam, Environmental Geochemistry and Health, Vol. 45, No. 11, pp. 7889-7907, <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01696-4> (2023).
- [12] N.D. Dat, et al., Contamination, source attribution, and potential health risks of heavy metals in street dust of a metropolitan area in Southern Vietnam, Environmental Science and Pollution Research, Vol. 28, No. 36, pp. 50405-50419, <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14246-1> (2021).
- [13] T.T.T. Nguyen, et al., Comprehensive insight into heavy metal(loid)s in road dust from industrial and urban areas in northern Vietnam: concentrations, fractionation characteristics, and risk assessment, Int J Environ Anal Chem, Vol., No., pp. 1-20, <https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2098478> (2022)
- [14] V.-T. Nguyen, et al., Characteristics and Risk Assessment of 16 Metals in Street Dust Collected from a Highway in a Densely Populated Metropolitan Area of Vietnam, Atmosphere. Vol. 12, No. 12, pp., <https://doi.org/10.3390/atmos12121548> (2021).
- [15] T.H. Phi, et al., Spatial Distribution of Elemental Concentrations in Street Dust of Hanoi, Vietnam, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 98, No. 2, pp. 277-282, <https://doi.org/10.1007/s00128-016-2001-6> (2017)
- [16] Da Nang towards a major economic and social hub in Southeast Asia, <https://aseanvietnam.vn/en/post/da-nang-towards-a-major-economic-and-social-hub-in-southeast-asia> (2024).
- [17] USEPA, SW-846 test method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils, United States Environmental Protection Agency (2007).
- [18] USEPA, EPA/540/R-95/128: Soil screening guidance: Technical background document, Office of Solid Waste and Emergency Response (1996).
- [19] USEPA, Method 6020B (SW-846): Inductively coupled plasma mass spectrometry, United States Environmental Protection Agency (2014).
- [20] K. Kyllönen, et al., Trends and source apportionment of atmospheric heavy metals at a subarctic site during 1996–2018, Atmospheric Environment, Vol. 236, No., pp. 117644, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117644> (2020).
- [21] N.D. Dat, et al., Street dust mercury levels among different land-use categories in Ho Chi Minh city, Vietnam: Source apportionment and risk estimation, Atmospheric Pollution Research, Vol. 14, No. 1, pp. 101623, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101623> (2023).
- [22] C. Huang, et al., Characteristics, source apportionment and health risk assessment of heavy metals in urban road dust of the Pearl River Delta, South China, Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 236, No., pp. 113490, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113490> (2022)
- [23] R. Urrutia-Goyes, et al., Street dust from a heavily-populated and industrialized city: Evaluation of spatial distribution, origins, pollution, ecological risks and human health repercussions, Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 159, No., pp. 198-204, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.054> (2018)
- [24] G. Muller, Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River, Vol., No., pp., <https://www.sid.ir/paper/618491/en> (1969)
- [25] S. Al Rashdi, A.A. Arabi, F.M. Howari, and A. Siad, Distribution of heavy metals in the coastal area of Abu Dhabi in the United Arab Emirates, Mar Pollut Bull, Vol. 97, No. 1, pp. 494-498, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.052> (2015).
- [26] P. Fan, et al., Spatial distribution, risk estimation and source apportionment of potentially toxic metal(loid)s in resuspended megacity street dust, Environ Int, Vol. 160, No., pp. 107073,

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107073>

(2022)

[27] S.N. Taghavi, et al., Assessment of heavy metals in street dusts of Tehran using enrichment factor and geo-accumulation index, *Health Scope*, Vol. 8, No. 1, pp., <https://doi.org/10.5812/jhealthscope.57879> (2019)

[28] W. Zgłobicki, et al., Assessment of heavy metal contamination levels of street dust in the city of Lublin, E Poland, *Environ Earth Sci*, Vol. 77, No. 23, pp. 774, <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7969-2> (2018)

[29] W. Zgłobicki, M. Telecka, and S. Skupiński, Assessment of short-term changes in street dust pollution with heavy metals in Lublin (E Poland)—levels, sources and risks, *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 26, No. 34, pp. 35049-35060, <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06496-x> (2019).

[30] A. Pejman, et al., A new index for assessing heavy metals contamination in sediments: A case study, *Ecological Indicators*, Vol. 58, No., pp. 365-373, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.012> (2015).

[31] A. Karimi, et al., Assessment of human health risks and pollution index for heavy metals in farmlands irrigated by effluents of stabilization ponds, *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 27, No. 10, pp. 10317-10327, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07642-6> (2020).

[32] M. Skorbiłowicz, Ł. Trybułowski, and E. Skorbiłowicz, Spatial Distribution and Pollution Level of Heavy Metals in Street Dust of the City of Suwałki (Poland), *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 20, No. 6, pp., <https://doi.org/10.3390/ijerph20064687> (2023).

[33] L.H.V. Lima, C.W.A. do Nascimento, F.B.V. da Silva, and P.R.M. Araújo, Baseline concentrations, source apportionment, and probabilistic risk assessment of heavy metals in urban street dust in Northeast Brazil, *Sci Total Environ*, Vol. 858, No., pp. 159750, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159750> (2023).

[34] S. Dong, et al., Concentrations, Speciation, and Bioavailability of Heavy Metals in Street Dust as well as Relationships with Physiochemical Properties: A Case Study of Jinan City in East China, *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 27, No. 28, pp. 35724-35737, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09761-6> (2020).

[35] Q. Han, et al., Health risk assessment and bioaccessibilities of heavy metals for children in soil and dust from urban parks and schools of Jiaozuo, China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 191, No., pp. 110157, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110157> (2020).

[36] Y. Zhao, et al., A review on seawater sea-sand concrete: Mixture proportion, hydration, microstructure and properties, *Construction and Building Materials*, Vol. 295, No., pp. 123602, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123602> (2021).

[37] E. Konstantinova, et al., Pollution status and human health risk assessment of potentially toxic elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban street dust of Tyumen city, Russia, *Environmental Geochemistry and Health*, Vol. 44, No. 2, pp. 409-432, <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00692-2> (2022)

[38] A.I. Ivaneev, et al., Assessment of sources, environmental, ecological, and health risks of potentially toxic elements in urban dust of Moscow megacity, Russia, *Chemosphere*, Vol. 321, No., pp. 138142, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138142> (2023).

[39] M.H. Kabir, et al., A comprehensive assessment of heavy metal contamination in road dusts along a hectic national highway of Bangladesh: spatial distribution, sources of contamination, ecological and human health risks, *Toxin Rev*, Vol. 41, No. 3, pp. 860-879, <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1952436> (2022)

[40] Y. Kang, et al., Arsenic in Chinese coals: Distribution, modes of occurrence, and environmental effects, *Sci Total Environ*, Vol. 412-413, No., pp. 1-13, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.10.026> (2011).

[41] V.C. Pandey, et al., Arsenic hazards in coal fly ash and its fate in Indian scenario, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 55, No. 9, pp. 819-835, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.04.005> (2011).

[42] K. Binnemans, P.T. Jones, Á. Manjón Fernández, and V. Masaguer Torres, Hydrometallurgical Processes for the Recovery of Metals from Steel Industry By-Products: A Critical Review, *Journal of Sustainable Metallurgy*, Vol. 6, No. 4, pp. 505-540, <https://doi.org/10.1007/s40831-020-00306-2> (2020).

[43] CO Ogunkunle and P.O. Fatoba, Pollution Loads and the Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals around a Mega Cement Factory in Southwest Nigeria, *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 22, No. 2, pp. 487-493 (2013).

[44] Y. Arfala, et al., Assessment of heavy metals released into the air from the cement kilns co-burning waste: Case of Oujda cement manufacturing (Northeast Morocco), *Sustainable Environment Research*, Vol. 28, No. 6, pp. 363-373, <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.07.005> (2018).

[45] S. Al-Oud, M. Nadeem, and B. Al-Shbel, Distribution of heavy metals in soils and plants around a cement factory in Riyadh city, central of Saudi Arabia, *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, Vol. 11, No. 2, pp. 183-191 (2011).

[46] F. Jiang, B. Ren, A.S. Hursthouse, and Y. Zhou, Trace Metal Pollution in Topsoil Surrounding the Xiangtan Manganese Mine Area (South-Central China): Source Identification, Spatial Distribution and Assessment of Potential Ecological Risks, *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

Vol. 15, No. 11, pp.,
<https://doi.org/10.3390/ijerph15112412> (2018).

[47] N.D. Dat, et al., Pollution characteristics, associated risks, and possible sources of heavy metals in road dust collected from different areas of a metropolis in Vietnam, *Environmental Geochemistry Health Scope*, Vol. 45, No. 11, pp. 7889-7907, <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01696-4> (2023).

[48] A. J. Adewumi, Heavy Metals in Soils and Road Dust in Akure City, Southwest Nigeria: Pollution, Sources, and Ecological and Health Risks, *Exposure and Health*, Vol. 14, No. 2, pp. 375-392,

<https://doi.org/10.1007/s12403-021-00456-y> (2022).

[49] H. Kania and M. Saternus, Evaluation and Current State of Primary and Secondary Zinc Production—A Review, *Applied Sciences*. Vol. 13, No. 3, pp., <https://doi.org/10.3390/app13032003> (2023).

[50] N. Uys, M. Becker, and J. Petersen, Evaluation of recycled galvanised steel as a resource for Zn production, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 2738, No. 1, pp. 012029, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2738/1/012029>. (2024).

Khảo sát hiện tượng điện trở âm trên linh kiện bán dẫn GaAs cấu trúc P-I-N

Lê Thị Thu Thùy*, Nguyễn Phước Thử, Huỳnh Ngọc Toàn

¹*Khoa Môi trường & Khoa học tự nhiên, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*

**Email: letthuthuy15@dtu.edu.vn*

Tóm tắt: Bài báo này trình bày về các hiện tượng đặc biệt của điện tử trong bán dẫn III-V bao gồm hiệu ứng Gunn và vận tốc vượt quá của các electron; khảo sát sự hình thành và biến đổi của điện trường bởi các miền điện tích không gian và sự biến đổi của vận tốc trôi dạt của điện tử trên linh kiện bán dẫn GaAs có cấu trúc p-i-n bằng phương pháp Ensemble Monte Carlo (EMC). Mẫu linh kiện được chọn có bề dày của lớp p và lớp n nhỏ hơn nhiều so với bề dày của lớp i. Các hạt tải kích thích quang được tạo ra bằng cách chiếu một xung laser siêu nhanh 12 fs vào bề mặt lớp p. Kết quả mô phỏng cho thấy sự biến đổi của điện trường gây bởi lưỡng cực điện theo nhiệt độ ở nhiệt độ thấp 77K và nhiệt độ cao 350K. Bên cạnh đó, chúng tôi cũng đã thực hiện mô phỏng sự biến đổi của điện trường gây bởi lưỡng cực điện theo nồng độ hạt tải. Đặc biệt, kết quả nghiên cứu còn chỉ ra sự xuất hiện của miền điện trở vi phân âm (NDR) ngay cả khi không có điện trường ngoài. Sự xuất hiện đồng thời của đặc tính biến đổi tắt dần của vận tốc và hiệu ứng NDR giúp vận tốc của điện tử nhanh chóng đạt đến giá trị cân bằng.

Từ khóa: Bán dẫn GaAs, điện trở âm, lưỡng cực

I. GIỚI THIỆU

Ngày nay, sự phát triển của nhiều ngành kỹ thuật công nghệ như công nghệ hình ảnh y học, công nghệ cơ điện tử vi cấu trúc và quang cơ gắn liền với bức xạ terahertz (THz). Trong các hợp chất bán dẫn được nghiên cứu thì bán dẫn loại III-V như GaAs, GaN, InP có nhiều lợi thế vì chúng có độ linh động cao [10-11]. Tính toán lý thuyết của Shur cho thấy với bán dẫn khối, trong một điều kiện nhất định nào đó khi điện tử có độ linh động cao thì quãng đường tự do trung bình của điện tử có thể đạt tới 1,4 μm [12]. Nhờ sự phát triển của kỹ thuật chế tạo, kích thước của các linh kiện ngày càng được thu nhỏ [13]. Trong quá trình thu nhỏ kích thước linh kiện bán dẫn, một số hiệu ứng vật lý lượng tử xuất hiện mà trong điều kiện của bán dẫn khối chúng không hề quan sát thấy [14-15]. Một trong những hiệu ứng vật lý xuất hiện trong quá trình thu nhỏ kích thước linh kiện là hiện tượng vận tốc vượt quá, được quan sát lần đầu tiên bởi H. D. Rees vào năm 1969 [16], sau đó nhiều nghiên cứu khác đã xác nhận hiện tượng này [17-20]. Những năm đây, bằng cách sử dụng kỹ thuật mô phỏng Monte Carlo được trình bày bởi [32], các tác giả đã khảo sát hiện tượng vận tốc vượt quá trong điều kiện không có điện trường ngoài và đi đến kết luận hiện tượng này có nguồn gốc từ điện trường nội tại do hạt tải kích thích quang được tạo ra bởi các xung laser siêu nhanh [33]. Với nồng độ hạt tải cho trước, vận tốc của điện tử trong linh kiện biến đổi tắt dần theo thời gian với những tần số xác định phụ thuộc kích thước và nhiệt độ của khối bán dẫn [34]. Tần số dao động của vận tốc điện tử nằm trong miền bức xạ THz và tần số dao động giảm khi kích thước linh kiện bán dẫn tăng như đã chỉ ra bởi Asada [1] và Gunn [35].

Trong đề tài này, chúng tôi sử dụng phương pháp Monte Carlo tập hợp tự hợp với mô hình 3 thung lũng. Chúng tôi tiến hành mô phỏng sự biến đổi của điện trường nội tại và vận tốc trôi dạt của điện tử theo thời gian. Chúng tôi nhận thấy có sự hình thành và đảo chiều của các lưỡng cực điện. Hiện tượng đảo chiều của lưỡng cực điện đã ảnh hưởng đến đặc điểm biến đổi của vận tốc điện tử. Đặc biệt, ở điều kiện nhiệt độ thấp (77 K), còn xuất hiện thêm hiệu ứng điện trở vi phân âm. Chúng tôi kết luận hiệu ứng điện trở vi phân âm không chỉ xảy ra do điện trường ngoài mà còn có thể xảy ra do điện trường nội tại trong điều kiện thích hợp.

II. PHÂN TÍCH LÝ THUYẾT

Một số hiện tượng đặc biệt của điện tử trong bán dẫn III-V được tìm ra trước đây như: hiện tượng điện tử nóng, hiệu ứng Gunn, hiện tượng vận tốc vượt quá hay hiện tượng tắt dần vận tốc... Để khảo sát hiện tượng điện trở vi phân âm trên linh kiện bán dẫn GaAs, đặc biệt là nghiên cứu về các đặc tính của điện tử chúng tôi tiến hành khảo sát sự hình thành các miền điện tích không gian trong bán dẫn, sự ảnh hưởng của điện trường ngoài lên các miền điện tích không gian.

Dạng chính xác của phân bố điện tích không gian, phân bố điện trường sẽ phụ thuộc vào quá trình khuếch tán hạt tải ra khỏi miền có nồng độ tạp cao. Ở trạng thái cân bằng, sự khuếch tán hạt tải (chiều phải sang trái, cái sẽ hình thành các miền điện tích không gian) sẽ được bù trừ bởi sự trôi dạt hạt tải theo chiều ngược lại (trái sang phải) do điện trường tạo ra bởi sự khuếch tán các hạt tải ban đầu. Quá trình khuếch tán và trôi dạt các hạt tải, ở đây là điện tử, được mô tả bởi phương trình vận chuyển hạt tải:

$$j_n = e\mu_n nE + \mu_n kT \frac{dn}{dx} \quad (1)$$

Số hạng đầu tiên bên vế phải mô tả quá trình trôi dạt, số hạng thứ hai mô tả quá trình khuếch tán của điện tử; n , μ_n là mật độ điện tử và độ linh động của điện tử; T là nhiệt độ của điện tử; E là điện trường.

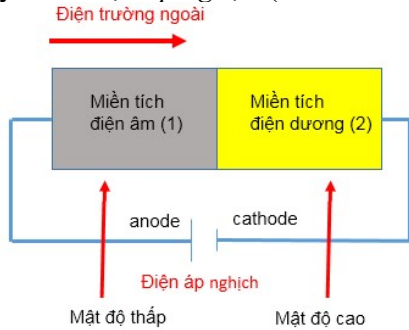
Dưới ảnh hưởng của trường ngoài thì các miền điện tích không gian sẽ dịch chuyển từ cathode đến anode. Gunn nhận thấy rằng vận tốc miền tỉ lệ với trường ngoài.

Thời gian thiết lập của một miền điện tích không gian được cho bởi [37]:

$$\tau_d = \frac{\epsilon_0}{4\pi en_0 \left| \frac{dv}{dE} \right|} \quad (2)$$

e là độ lớn điện tích, ϵ_0 là hằng số điện môi tĩnh. Conwell và Vassell [39] tính được với $n_0 = 3.10^{17}/\text{cm}^3$, $\left| \frac{dv}{dE} \right| = 3000 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$ thì $\tau_d = 30 \text{ ps}$.

Xét miền có nồng độ tạp thấp – miền tích điện âm (miền 1) ở bên trái; miền có nồng độ tạp cao – miền tích điện dương (miền 2) ở bên phải (Hình 1). Một điện áp đặt vào hai đầu linh kiện: Anode đặt vào miền 1, cathode đặt vào miền 2. Trường hợp này ta có *điện áp ngược* (reverse bias) [40].



Hình 1: Điện trường ngoài đặt vào linh kiện sao cho anode đặt vào miền có nồng độ hạt tải thấp, cathode đặt vào miền có nồng độ hạt tải cao. Trường hợp này ta có điện áp thuận.

Ở Miền 1: Còn gọi là miền nghèo (depletion region): Các electron bị kéo ra xa khỏi bề mặt phân cách hai miền để đi về phía anode làm cho miền điện tích âm được mở rộng hơn và điện trở cao hơn.

Ở miền 2: Gọi là miền tích lũy (accumulation region): Electron di chuyển vào miền này, trung hòa các donor (cố định) làm cho miền 2 bị thu hẹp. Hiệu ứng mở rộng miền trong trường hợp điện áp ngược làm tăng điện trở của linh kiện.

Ngược lại, anode đặt vào miền 2, cathode đặt vào miền 1. Trường hợp này ta có *điện áp thuận* (forward bias). Các electron ở miền 1 có điện trở cao sẽ di chuyển qua miền 2, làm trung hòa các

donor. Kết quả là miền 1 bị thu hẹp đồng thời điện trở giảm; miền 2 được mở rộng và điện trở tăng. Khi có điện áp ngược đặt vào hai đầu linh kiện thì vẫn xảy ra hiệu ứng tăng điện trở, tuy nhiên hiệu ứng tăng điện trở trong trường hợp điện áp thuận thì yếu hơn trong trường hợp điện áp ngược. Điều này dẫn đến kết quả là nếu muốn tạo dòng điện ở mạch ngoài có cùng cường độ thì điện áp ngược có độ lớn lớn hơn độ lớn của điện áp thuận.

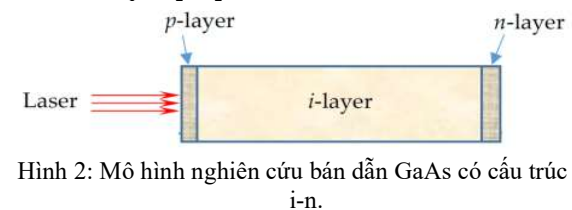
Khi bán dẫn bị kích thích quang hoặc có điện trường ngoài tác động bằng cách đặt một điện áp đặt vào hai đầu linh kiện bán dẫn, sẽ làm cho hạt tải lệch khỏi trạng thái cân bằng nhiệt động. Khi ánh sáng kích hoặc trường ngoài ngừng tác động, các hạt tải sẽ trở lại phân bố cũ và mất một khoảng thời gian không đổi đặc trưng. Khoảng thời gian này được gọi là *thời gian sống* của hạt tải. Ở trạng thái cân bằng nhiệt, thời gian sống của hạt tải coi như bằng vô hạn.

Trên cơ sở phân tích như trên, sử dụng phương pháp EMC để tiến hành mô phỏng sự biến đổi của điện trường nội tại và vận tốc trôi dạt của điện tử theo thời gian để thấy được sự đảo chiều của các lưỡng cực điện. Bên cạnh đó, chúng tôi khảo sát hiện tượng điện trở vi phân âm trên linh kiện bán dẫn GaAs cấu trúc p-i-n tại các nhiệt độ 77K.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong chương này chúng tôi sẽ khảo sát sự hình thành và biến đổi của điện trường gây bởi miền điện tích không gian và sự biến đổi của vận tốc trôi dạt của điện tử trên linh kiện bán dẫn GaAs có cấu trúc p-i-n (Hình 2).

Bề dày của lớp p và lớp n nhỏ hơn nhiều so với bề dày của lớp i. Các hạt tải kích thích quang được tạo ra bằng cách chiếu một xung laser siêu nhanh 12 fs vào bề mặt lớp p. Các hạt tải này phân bố một cách ngẫu nhiên theo định luật Beer. Nồng độ hạt tải giảm đều từ lớp p cho đến lớp i rồi đến lớp n [34].



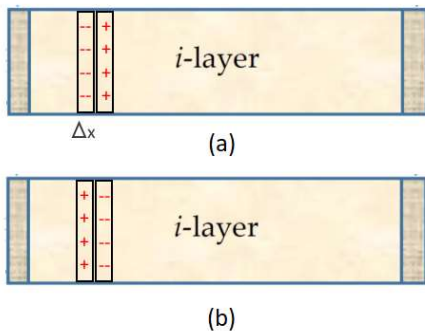
Hình 2: Mô hình nghiên cứu bán dẫn GaAs có cấu trúc p-i-n.

Xét hai lớp bán dẫn có bề rộng Δx nằm cạnh nhau. Tại thời điểm t nào đó, mật độ điện tử của lớp phía bên trái cao hơn so với lớp bên phải. Có thể coi hai lớp này tạo thành một lưỡng cực với lớp bên trái tích điện âm, lớp bên phải tích điện

dương (Hình 3a). Điện trường do lưỡng cực này tạo ra hướng từ phải qua trái.

Các điện tử dưới ảnh hưởng của điện trường này sẽ tăng tốc chuyển động ngược chiều điện trường từ phía lớp p sang lớp n. Quá trình này làm giảm điện tích âm của lớp bên trái và tăng điện tích âm cho lớp bên phải, đến khi điện tích của hai lớp bằng nhau thì lưỡng cực sẽ biến mất. Điện trường do lưỡng cực tạo ra sẽ bằng không. Lúc này vận tốc của các điện tử sẽ đạt cực đại.

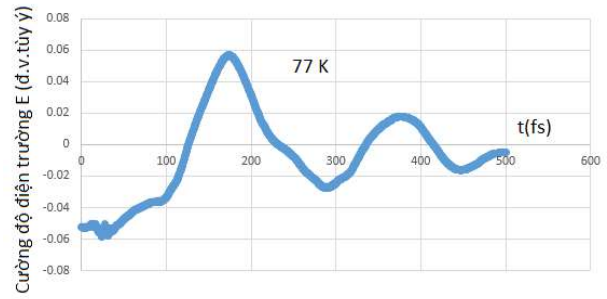
Do nồng độ điện tử của lớp bên trái cao hơn lớp bên phải nên điện tử vẫn sẽ tiếp tục khuếch tán từ lớp bên trái sang lớp bên phải dẫn đến lớp bên phải tích điện âm còn lớp bên trái tích điện dương (Hình 3b). Điện trường do lưỡng cực tạo ra hướng từ trái qua phải, có tác dụng cản trở chuyển động của điện tử.



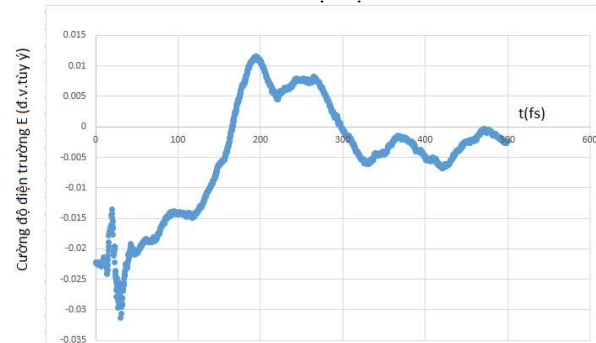
Hình 3: Minh họa các lớp tích điện trái dấu trong bán dẫn GaAs có cấu trúc p-i-n.

Khi xung laser tiếp tục rơi vào lớp p để kích hoạt các hạt tải mới, điện tử của lớp bên trái tăng dần. Khi điện tích âm của lớp trái và phải bằng nhau thì khi đó lưỡng cực sẽ biến mất. Nếu các hạt tải tiếp tục được tạo ra thì lớp bên trái sẽ tích điện âm, lớp bên phải tích điện dương. Tới đây quá trình lặp lại như đã giải thích ở trên.

Chúng tôi khảo sát sự biến đổi của điện trường theo thời gian ở nhiệt độ 77 K (Hình 4) và nhiệt độ 350 K (Hình 5). Quan sát các đồ thị này ta thấy có sự đổi dấu của điện trường, điều này cho thấy có sự hình thành của miền điện tích không gian hay các lưỡng cực điện. Thời gian tồn tại các lưỡng cực tỉ lệ nghịch với độ linh động của điện tử. Ở nhiệt độ thấp, các điện tử có độ linh động cao hơn nên thời gian tồn tại các lưỡng cực ngắn hơn. Ở nhiệt độ 77 K, thời gian này là cỡ 110 fs, ở nhiệt độ 350 K thời gian tồn tại lưỡng cực là 135 fs. Cũng vì ở nhiệt độ thấp thời gian tồn tại các lưỡng cực ngắn hơn nên một hệ quả đi kèm là số lưỡng cực được hình thành cũng nhiều hơn so với khi bán dẫn ở nhiệt độ cao.



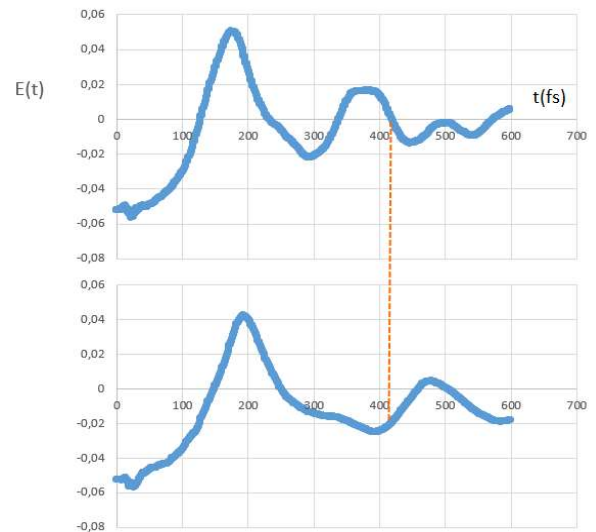
Hình 4: Sự biến đổi của điện trường nội trên linh kiện bán dẫn GaAs ở nhiệt độ 77 K.



Hình 5: Sự biến đổi của điện trường nội trên linh kiện bán dẫn GaAs ở nhiệt độ 350 K.

Từ đồ thị Hình 4 và Hình 5 chúng ta cũng thấy rằng, cường độ cực đại của điện trường gây bởi các lưỡng cực ở nhiệt độ 77 K lớn hơn nhiều so với điện trường cực đại ở 350 K.

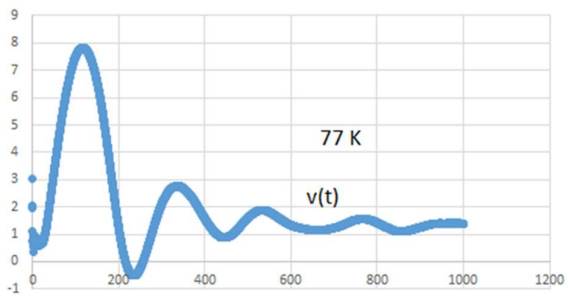
Điều này được giải thích như sau. Cường độ điện trường do lưỡng cực tạo ra phải tỉ lệ thuận với số lượng điện tử chuyển từ thung lũng trung tâm lên thung lũng vệ tinh. Ở nhiệt độ thấp (77 K) hầu như điện tử nằm ở thung lũng trung tâm.



Hình 6: Sự biến đổi của điện trường nội theo thời gian ở 77 K ứng với các nồng độ hạt tải khác nhau. Đường trên ứng với nồng độ $\frac{10 \cdot 10^{17}}{cm^3}$, đường dưới ứng với nồng độ $\frac{5 \cdot 10^{17}}{cm^3}$.

Khi bị kích thích bởi xung laser thì số lượng điện tử chuyển từ thung lũng trung tâm lên thung lũng vệ tinh nhiều hơn. Điện trường do lưỡng cực tạo ra cũng sẽ mạnh hơn. Ngược lại ở nhiệt độ cao (350 K), một số điện tử đã chuyển lên nằm ở thung lũng vệ tinh L. Khi bị kích thích bởi xung laser thì số điện tử chuyển từ thung lũng trung tâm lên thung lũng vệ tinh L sẽ ít hơn. Vì vậy mà điện trường do lưỡng cực tạo ra trong trường hợp này phải yếu hơn.

Theo công thức (2) ở trên thì thời gian tồn tại của lưỡng cực tỉ lệ nghịch với nồng độ hạt tải. Điều này có nghĩa là với nồng độ hạt tải càng lớn thì thời gian tồn tại các lưỡng cực sẽ càng ngắn. Chúng tôi đã mô phỏng sự biến đổi của điện trường theo thời gian ở nhiệt độ 77 K ở các nồng độ khác nhau (hình 6). Quan sát đồ thị ở hình 6 ta thấy ở nồng độ hạt tải là $\frac{10 \cdot 10^{17}}{\text{cm}^3}$ (đường nằm trên) thì trong 400 fs đầu tiên xuất hiện 4 lưỡng cực; trong khi ở nồng độ $\frac{5 \cdot 10^{17}}{\text{cm}^3}$ (đường nằm dưới) thì trong 400 fs đầu tiên chỉ xuất hiện 3 lưỡng cực, cũng đồng nghĩa là thời gian tồn tại của lưỡng cực trong trường hợp nồng độ hạt tải cao thì ngắn hơn như tính toán của lý thuyết.



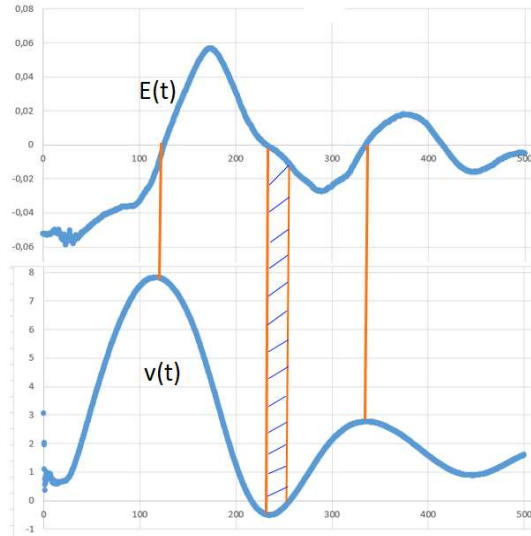
Hình 7: Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của vận tốc trôi dạt của điện tử theo thời gian tại nhiệt độ 77 K. Kích thước bán dẫn là 200 nm.

Ở nhiệt độ thấp, quãng đường tự do trung bình của điện tử lớn hơn nhiều so với kích thước linh kiện. Ví dụ với GaAs ở nhiệt độ 77 K, độ linh động $150000 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$, khoảng quãng đường tự do trung bình gần bằng $1,32 \mu\text{m}$ [12]. Đây là điều không thể xảy ra trong thực tế. Để giải quyết mâu thuẫn này, chúng tôi đã khảo sát sự biến đổi của vận tốc trôi dạt ở nhiệt độ 77 K (hình 7).

Quan sát đồ thị, chúng tôi nhận thấy rằng vận tốc trôi dạt biến đổi gần giống với dao động tắt dần, trải qua nhiều lần hồi phục để cuối cùng đạt đến vận tốc cân bằng nhiệt khoảng $v = 1,4 \cdot 10^5 \text{ m/s}$. Thời gian để vận tốc điện tử đạt đến giá trị cân bằng là khoảng $\tau = 1 \text{ ps}$. Như vậy, trong khoảng thời gian này điện tử đã di chuyển một

quãng đường $l = v \cdot \tau = (1,4 \cdot 10^5)(1,0 \cdot 10^{-12}) = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 140 \text{ nm}$. Giá trị này nhỏ hơn kích thước linh kiện là 200 nm.

Chúng tôi còn quan sát được một hiệu ứng nữa chưa từng được đề cập trong các công bố trước đây. Đó là hiệu ứng điện trở vi phân âm (NDR). Nếu khi độ lớn của điện trường trong linh kiện tăng nhưng độ lớn của vận tốc trôi dạt giảm thì khi đó ta nói xảy ra hiệu ứng điện trở vi phân âm.



Hình 8: Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của điện trường nội tại và vận tốc trôi dạt của điện tử theo thời gian tại nhiệt độ 77 K. Kích thước bán dẫn 200 nm.

Chúng tôi khảo sát sự biến đổi của điện trường nội tại và của vận tốc trôi dạt theo thời gian và biểu diễn đồ thị E(t) và v(t) trên cùng một hệ trục tọa độ trong 500 fs đầu tiên (Hình 8).

Trên đồ thị, ở miền gạch chéo chúng tôi quan sát thấy cường độ điện trường tăng nhưng tốc độ của hạt tải lại giảm. Như vậy miền này ứng với miền xảy ra hiệu ứng NDR. Thời điểm bắt đầu xảy ra hiệu ứng NDR là khi điện trường nội tại đổi chiều, tức là khi có sự đổi chiều của lưỡng cực điện như đã phân tích ở đầu chương này. Điều đặc biệt là trong miền xảy ra hiệu ứng NDR, vận tốc của điện tử ngược dấu với vận tốc ở các miền khác. Điều này có nghĩa là các điện tử đã đổi chiều chuyển động. Như vậy, sự tồn tại đồng thời của đặc tính biến đổi tắt dần của vận tốc và hiệu ứng NDR đã làm cho vận tốc hạt tải nhanh chóng hồi phục về giá trị cân bằng nhiệt tương đối thấp. Kết quả này giúp tránh được mâu thuẫn về quãng đường tự do trung bình đã nói ở trên. Sự biến đổi tắt dần của vận tốc và sự xuất hiện của hiệu ứng NDR có nguyên nhân từ sự đảo chiều của lưỡng cực điện gây bởi các hạt tải bị kích thích quang. Như vậy, chúng tôi kết luận rằng hiệu ứng NDR

không chỉ xảy ra do điện trường ngoài mà còn có thể xảy ra do sự biến đổi của điện trường nội.

IV. KẾT LUẬN

Trong đề tài này chúng tôi đã thực hiện các việc sau đây:

1. Mô phỏng sự biến đổi của điện trường gây bởi lưỡng cực điện theo nhiệt độ bán dẫn. Kích thước linh kiện là 200 nm. Ở nhiệt độ thấp (77 K) thời gian tồn tại của lưỡng cực ngắn hơn ở nhiệt độ cao (350 K). Cường độ điện trường cực đại gây bởi lưỡng cực ở nhiệt độ thấp lớn vài lần so với khi ở nhiệt độ cao.

2. Mô phỏng sự biến đổi của điện trường gây bởi lưỡng cực điện với các nồng độ hạt tải khác nhau. Khi nồng độ hạt tải tăng số lưỡng cực hình thành tăng và thời gian tồn tại của lưỡng cực giảm đi.

3. Chỉ ra sự xuất hiện của miền điện trở vi phân âm (NDR). Hiệu ứng NDR xuất hiện ngay cả khi không có điện trường ngoài. Sự xuất hiện đồng thời của đặc tính biến đổi tắt dần của vận tốc và hiệu ứng NDR giúp vận tốc của điện tử nhanh chóng đạt đến giá trị cân bằng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. Asada, S. Suzuki, and N. Kishimoto, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 47, No. 6, pp. 4375–4384 (2008).
 [2] H. Eisele, *Proceedings of SPIE Optics and Photonics* (2015).
 [3] K. Murano, I. Watanabe, A. Kasamatsu, S. Suzuki, M. Asada, T. Tanaka, and Y. Monna, *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 7, 1 (2017).
 [4] S. Kitagawa, Maya Mizuno, Shingo Saito, Kota Ogino, Safumi Suzuki and Masahiro Asada, *Japanese Journal of Applied Physics* 56, 058002 (2017).
 [5] K. Ogino, S. Suzuki, and M. Asada, *R. Communicatio, IEICE Trans. Electron., E101–C, 3* (2018).
 [6] D. N. Thao, *Superlattices and Microstruct*, 103, pp 213-220 (2017).
 [7] D. N. Thao and N.P. The, *J. Phys. Soc. Jpn*, 82, 10, 104701 (2013).
 [8] N. P. The: M. Sc. Thesis, College of Education, Hue University, Hue (2007).
 [9] Nguyen Phuoc The, *Nanoscience and Nanotechnology-Asia*, 10, 6 (2020).
 [10] H. C. Neitzert, *Nanotechnology and Nanoelectronics*, pp 213-237 (2005).
 [11] Y. Martin et al, *IEEE 69th Eloquentic Components and Technology Conference*, pp 1060-1066 (2019).
 [12] M. Shur, *IEEE Transactions on Electron Devices*, 30, 2 (1983).

[13] K. J. Chen, O. Haberen, S. Member, A. Lodow, C. Tsai, T. Ueda, Y. Uemoto and Y. Wu, *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 64, No. 3, March (2017).
 [14] N. Balkan, *Hot electrons in semiconductor devices*.
 [15] S. Teitels, J. W. Wilkins, *IEEE Transactions on Electron Devices*, 26, 11 (1979).
 [16] H. D. Rees, *J. Phys. Chem. Solids*, Pergamon Press, 30, pp 643-655 (1969).
 [17] J. G. Ruch, *IEEE, Trans. Electron Devices* 19, 652 (1972).
 [18] M. Bacarani and M. R. Wordeman, *Solid State Electronics*, 20, 4, pp 407-416 (1985).
 [19] M. O. Vassell and J. Lee, *Journal of Applied Physics*, 58, 4230 (1985).
 [20] M. Saraniti, Y. Hu, S. M. Goodnick and S. J. Wigger, *Physica B*, 314, pp 162-165 (2002).
 [21] C. R. Drago and A. Majorana, *Transport Theory and Statistical Physics*, 29, 805 (2000).
 [22] J. Han, *Journal of the Korean Physical Society*, 71, 6 (2017).
 [23] C. Zhang, L. Cheng and Y. Liu, *Physical Review B*, 102, 115405 (2020).
 [24] P. Degond, F. Mustieles, *Solid State Electron*, ISSN 0038-1101, 34, 1335 (1991).
 [25] J. Jyegal and T. A. DeMassa, *Journal of Applied Physics*, 75, 3169 (1994).
 [26] J. Jyegal, *AIP Advances* 5, 067118 (2015).
 [27] S. Tiwari, *Compound Semiconductor Device Physics* (Academic Press, New York, pp. 135 (1992).
 [28] M. Lundstrom, *Fundamentals of Carrier Transport* (Cambridge University Press, Cambridge, p. 332 (2000).
 [29] R. A. Lewis, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 47 (2014).
 [30] B. I. Abidin, K. H. Yeoh, D. S. Ong, T. K. Yong, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50, 425103 (2017).
 [31] S. Wang, Z. Wu, Z. Haifeng, X. Duan, C. Han, Y. Wei, H. Liu, *Solid State Communications*, 288, pp 68-73 (2019).
 [32] K. Tomizawa, *Numerical Simulation of Submicron Semiconductor Devices*, 1st edition, Artech House, Boston (1993).
 [33] N. P. The, H. K. Hieu, *Physics Letters A*, 383, pp 2314-2317 (2019).
 [34]. N. P. The, H. N. Toan, D. N. Thao, H. K. Hieu, *Physics Letters A*, 445 (2022).
 [35] J. B. Gunn, *Solid State Comm*, 1, pp 88-91 (1963).
 [36] H. Kroemer, *Proc. IEEE*. Vol 52, pp 1736 (1964).
 [37] P. N Butcher, *Rep. Prog. Phys.* 3097 (1967).
 [38] D. E. McCumber and A. G. Chynoweth, *Trans. Inst. Elect. Electron. Engrs, Electron Devices* 13, pp 4-21 (1966).
 [39] E. M. Conwell and M. O. Vassell, *Trans. Inst. Elect. Electron. Engrs, Electron Devices*, 13, pp 22-27 (1996).
 [40] K. W Boer, *Introduction to Space Charge Effects in Semiconductors*, Springer Series in Solid-State Sciences (2010).

Thiết kế đồ họa với công nghệ thân thiện môi trường: xu hướng và thực tiễn

Graphic design with eco-friendly technology: trends and practices

Nguyễn Thị Sương*, Lê Phương Hiếu

Khoa Mỹ thuật ứng dụng, Trường Công Nghệ và Kỹ thuật, Đại Học Duy Tân, Đà Nẵng

**Email: nguyensuong2188@gmail.com*

Tóm tắt: Bài báo này phân tích vai trò quan trọng của thiết kế đồ họa trong việc thúc đẩy các giải pháp thân thiện với môi trường và trình bày các xu hướng cùng thực tiễn trong ngành. Đầu tiên, nghiên cứu nhận diện sự chuyển đổi từ các phương pháp truyền thống sang hướng tiếp cận bền vững, nhấn mạnh việc sử dụng vật liệu tái chế, mực in không độc hại và kỹ thuật in tiên tiến nhằm giảm thiểu chất thải và tiết kiệm năng lượng. Công nghệ in kỹ thuật số và in 3D được xem xét là các công cụ quan trọng trong việc giảm thiểu tác động môi trường, với khả năng tích hợp vật liệu sinh học và tái chế trong sản phẩm. Bài báo sử dụng các ví dụ về công ty và nhà thiết kế tiên phong để minh chứng cho tiềm năng của những công nghệ này không chỉ trong việc giảm thiểu tác động môi trường mà còn nâng cao nhận thức cộng đồng về thiết kế bền vững. Ngoài ra, nghiên cứu còn phân tích các thách thức như chi phí đầu tư cao, sự hạn chế về công nghệ, và thay đổi trong nhận thức của người tiêu dùng, đồng thời chỉ ra các cơ hội cho đổi mới và sáng tạo. Kết quả của nghiên cứu khẳng định rằng thiết kế đồ họa thân thiện với môi trường không chỉ là trách nhiệm mà còn là cơ hội để ngành công nghiệp tạo ra giá trị bền vững và đóng góp vào các nỗ lực bảo vệ môi trường toàn cầu.

Từ khóa: *thiết kế đồ họa, thiết kế bền vững, công nghệ thân thiện, xu hướng và thực tiễn*

Abstract: This paper analyzes the significant role of graphic design in promoting environmentally friendly solutions and presents trends and practices within the industry. Firstly, the study identifies the transition from traditional methods to sustainable approaches, emphasizing the use of recycled materials, non-toxic inks, and advanced printing techniques to minimize waste and conserve energy. Digital printing and 3D printing technologies are considered key tools for reducing environmental impact, with the capacity to integrate bio-based and recycled materials into products. The paper uses examples of pioneering companies and designers to illustrate the potential of these technologies not only in mitigating environmental impact but also in raising public awareness of sustainable design. Additionally, the study examines challenges such as high investment costs, technological limitations, and shifts in consumer perception, while highlighting opportunities for innovation and creativity. The research findings affirm that environmentally friendly graphic design is not only a responsibility but also an opportunity for the industry to create sustainable value and contribute to global environmental protection efforts.

Keywords: *graphic design, sustainable design, eco-friendly technology, trends and practices*

1. Giới thiệu

Thiết kế đồ họa hiện đại là một yếu tố không thể thiếu trong các chiến lược truyền thông và tiếp thị, đóng vai trò quan trọng trong việc giúp thương hiệu và tổ chức truyền tải thông điệp của mình một cách hiệu quả và sinh động. Qua những hình ảnh bắt mắt và cách bố trí hợp lý, thiết kế đồ họa không chỉ thu hút sự chú ý của người tiêu dùng mà còn truyền đạt những giá trị cốt lõi, xây dựng nhận diện thương hiệu vững chắc. Một chiến dịch tiếp thị thành công thường dựa vào sự kết hợp tinh tế giữa hình ảnh, màu sắc và văn bản, từ đó tạo ra một ngôn ngữ trực quan dễ hiểu và hấp dẫn, gia tăng khả năng nhận diện thương hiệu và thu hút đối tượng mục tiêu. Các yếu tố đồ họa được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, từ quảng cáo và truyền thông xã hội đến bao bì sản phẩm, đều có tác động sâu sắc đến sự nổi bật của sản phẩm hoặc dịch vụ trong một thị trường cạnh tranh khốc liệt. Không chỉ dừng lại ở việc làm đẹp cho sản phẩm, thiết kế đồ họa còn giữ vai trò quan trọng trong việc tạo dựng trải nghiệm người dùng (UX) và giao diện người dùng (UI) thông

minh, giúp các công ty tối ưu hóa việc tương tác với khách hàng. Những yếu tố này không chỉ gia tăng tính thẩm mỹ mà còn ảnh hưởng trực tiếp đến cách mà người tiêu dùng cảm nhận và tương tác với thương hiệu, góp phần xây dựng lòng tin và thúc đẩy hành động mua hàng. Tuy nhiên, bên cạnh những lợi ích mà thiết kế đồ họa mang lại, không thể phủ nhận rằng ngành này cũng có những tác động tiêu cực đến môi trường. Việc sử dụng tài nguyên, chất liệu in ấn và quy trình sản xuất đều góp phần vào ô nhiễm và tiêu thụ năng lượng lớn, từ đó đặt ra thách thức lớn cho các nhà thiết kế trong việc phát triển các phương pháp bền vững hơn. Trước bối cảnh này, công nghệ xanh đã nổi lên như một giải pháp khả thi. Công nghệ xanh được định nghĩa là các công nghệ, quy trình và sản phẩm có tác động tích cực đến môi trường hoặc ít gây hại hơn so với các công nghệ truyền thống. Việc tích hợp công nghệ này vào thiết kế đồ họa không chỉ giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường mà còn tạo ra những sản phẩm sáng tạo, bền vững.

Nghiên cứu này hướng tới việc khám phá sâu sắc vai trò của công nghệ xanh trong lĩnh vực

thiết kế đồ họa, đồng thời phân tích các xu hướng hiện tại và thực tiễn ứng dụng công nghệ thân thiện với môi trường trong ngành. Chúng tôi sẽ xem xét các xu hướng thiết kế bền vững hiện nay, bao gồm thiết kế tối giản, việc sử dụng vật liệu tái chế, và áp dụng các công nghệ tiên tiến như trí tuệ nhân tạo (AI) để tối ưu hóa quy trình thiết kế. Sự chuyển mình này không chỉ nâng cao giá trị thẩm mỹ cho các sản phẩm mà còn góp phần giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường, từ đó thúc đẩy sự phát triển bền vững trong ngành thiết kế đồ họa. Thông qua nghiên cứu này, chúng tôi mong muốn cung cấp cái nhìn sâu sắc về mối liên hệ giữa thiết kế đồ họa và công nghệ xanh, đồng thời khuyến khích các nhà thiết kế hướng tới những lựa chọn bền vững trong tương lai. Mục tiêu chính của nghiên cứu là phân tích vai trò của công nghệ xanh trong thiết kế đồ họa hiện đại và tác động của các xu hướng bền vững đối với ngành. Nghiên cứu sẽ đánh giá tác động môi trường của thiết kế đồ họa, bao gồm ô nhiễm và tiêu thụ tài nguyên, cũng như khám phá các xu hướng thiết kế bền vững như thiết kế tối giản và sử dụng vật liệu tái chế. Bên cạnh đó, nghiên cứu sẽ làm rõ mối quan hệ giữa thiết kế đồ họa và công nghệ xanh nhằm giảm thiểu các tác động tiêu cực và nâng cao giá trị thẩm mỹ. Cuối cùng, nghiên cứu sẽ đưa ra các khuyến nghị cho các nhà thiết kế về việc áp dụng các giải pháp bền vững. Từ đó, nghiên cứu hy vọng nâng cao nhận thức về tầm quan trọng của công nghệ xanh trong lĩnh vực thiết kế đồ họa.

2. Công nghệ thân thiện môi trường trong thiết kế đồ họa.

2.1. Khái niệm "công nghệ thân thiện môi trường"

Công nghệ thân thiện với môi trường, hay còn gọi là "công nghệ xanh," được định nghĩa là tập hợp các giải pháp và công cụ kỹ thuật nhằm giảm thiểu hoặc loại bỏ các tác động tiêu cực đến môi trường trong quá trình sử dụng. Trong lĩnh vực thiết kế đồ họa, công nghệ xanh bao gồm các phần mềm thiết kế, kỹ thuật in ấn và phương pháp quản lý dữ liệu, với mục tiêu tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng, tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên và giảm thiểu phát thải khí carbon. Công nghệ xanh không chỉ liên quan đến việc lựa chọn phần mềm thiết kế hiệu quả mà còn bao gồm việc sử dụng nguyên liệu và quy trình sản xuất bền vững, từ đó góp phần giảm thiểu ô nhiễm và tiêu thụ năng lượng. Để được coi là công nghệ thân thiện

với môi trường trong thiết kế đồ họa, công nghệ cần đáp ứng một số tiêu chí, trong đó có khả năng tiết kiệm tài nguyên, tối ưu hóa sử dụng năng lượng, nước và nguyên liệu đầu vào, nhằm giảm thiểu lãng phí trong quá trình sản xuất. Thiết kế đồ họa có tiềm năng lớn trong việc nâng cao nhận thức cộng đồng về bảo vệ môi trường, thông qua việc truyền tải các thông điệp qua hình ảnh và biểu tượng một cách dễ hiểu và gần gũi. Điều này nhấn mạnh rằng vai trò của thiết kế đồ họa không chỉ dừng lại ở khía cạnh thẩm mỹ mà còn ảnh hưởng đến hành vi tiêu dùng và nhận thức bảo vệ môi trường của người dân. Công nghệ xanh cần đảm bảo giảm thiểu lượng chất thải phát sinh trong quá trình thiết kế và in ấn, đồng thời khuyến khích sử dụng nguyên liệu có thể tái chế hoặc phân hủy sinh học. Việc áp dụng các nguồn năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời hoặc gió trong quy trình sản xuất và hoạt động của phần mềm thiết kế cũng là tiêu chí quan trọng. Hơn nữa, công nghệ xanh phải đảm bảo rằng các sản phẩm cuối cùng không gây hại cho sức khỏe con người và không sử dụng hóa chất độc hại trong quy trình sản xuất. Khả năng cập nhật và tái sử dụng công nghệ cũng rất cần thiết để giúp các nhà thiết kế tiết kiệm tài nguyên và giảm thiểu tác động đến môi trường. Nhiều phần mềm thiết kế đồ họa hiện đại đã được phát triển với tính năng tối ưu hóa tài nguyên, giúp các nhà thiết kế sử dụng tài nguyên một cách hiệu quả hơn. Ví dụ, các phần mềm như Adobe Illustrator và InDesign có khả năng xử lý tài liệu lớn mà không tiêu tốn quá nhiều dung lượng bộ nhớ. Một số phần mềm còn cung cấp các công cụ để giảm kích thước tệp và nén hình ảnh mà không làm giảm chất lượng, qua đó tiết kiệm không gian lưu trữ và giảm thiểu việc sử dụng băng thông. Công nghệ in ấn sinh học đang ngày càng trở thành lựa chọn phổ biến cho các nhà thiết kế đồ họa nhằm giảm thiểu tác động đến môi trường. Công nghệ này sử dụng mực in từ nguyên liệu tự nhiên, như mực đậu nành và mực thực vật, giúp giảm thiểu hóa chất độc hại và ô nhiễm không khí so với mực in truyền thống. Ngoài ra, nhiều công ty in ấn hiện nay đã chuyển sang sử dụng giấy tái chế và các quy trình in tiết kiệm năng lượng, góp phần làm giảm lượng chất thải và bảo vệ môi trường. Cuối cùng, nền tảng đám mây sử dụng năng lượng tái tạo ngày càng trở nên phổ biến trong ngành thiết kế đồ họa. Các dịch vụ lưu trữ và xử lý dữ liệu trên đám mây như Google Drive, Dropbox và Adobe Creative Cloud cam kết sử dụng năng

lượng tái tạo cho hoạt động của mình. Việc sử dụng nền tảng đám mây không chỉ giúp tiết kiệm không gian lưu trữ trên thiết bị cá nhân mà còn giảm thiểu khí thải carbon do hạn chế việc sử dụng máy chủ vật lý, tạo ra một môi trường làm việc linh hoạt, an toàn và thân thiện với môi trường cho các nhà thiết kế.

2.2. Xu hướng thiết kế đồ họa bền vững

Giảm thiểu tài nguyên tiêu thụ thiết kế tối giản tập trung vào việc loại bỏ những yếu tố không cần thiết, tạo nên một sản phẩm đơn giản nhưng vẫn hiệu quả trong việc truyền tải thông điệp. Bằng cách giảm bớt các yếu tố đồ họa, nhà thiết kế có thể tiết kiệm đáng kể tài nguyên trong quy trình sản xuất. Ví dụ, việc sử dụng ít màu sắc hơn không chỉ giúp giảm thiểu lượng mực in mà còn làm cho thiết kế trở nên dễ hiểu hơn cho người xem. Thiết kế tối giản khuyến khích sự sáng tạo thông qua việc khai thác tối đa giá trị của từng thành phần, từ đó giúp giảm thiểu lãng phí trong việc sử dụng tài nguyên. Dưới đây là so sánh về cách thức bố cục của poster và lý do xu hướng tối giản được ưa chuộng hơn.

- **Thiết kế bố cục dàn trải, nhiều đối tượng (Hình 1):**



Hình 1. Một mẫu thiết kế phức tạp với nhiều màu sắc [10]

Một mẫu thiết kế phức tạp với nhiều màu sắc, hình ảnh và chi tiết và sử dụng quá nhiều màu sắc có thể làm thiết kế trở nên rối mắt và khó chịu. Nó có thể khiến người xem cảm thấy choáng ngợp và không thể tập trung vào thông điệp

chính. Điều này có thể khiến người xem cảm thấy rối mắt và khó nắm bắt thông điệp chính. Việc nhồi nhét quá nhiều chi tiết vào một thiết kế có thể mất đi tính chuyên nghiệp. Người xem có thể bị lạc lối trong những yếu tố không cần thiết. Sự thiếu nhất quán trong kiểu chữ, màu sắc hoặc phong cách thiết kế có thể làm giảm tính chuyên nghiệp và làm mất lòng tin của người xem.

- **Thiết kế tối giản, ít đối tượng (Hình 2):**

Một mẫu thiết kế tối giản chỉ sử dụng một hoặc hai màu sắc, với ít chi tiết nhưng rõ ràng. Điều này giúp người xem dễ dàng hiểu và tiếp thu thông tin, đồng thời thể hiện sự sáng tạo qua cách sắp xếp hợp lý các thành phần. Cả hai hình ảnh này sẽ làm nổi bật sự khác biệt giữa việc sử dụng nhiều màu sắc và thiết kế tối giản, từ đó truyền tải thông điệp về việc tiết kiệm tài nguyên và khuyến khích sự sáng tạo. Nhà thiết kế đồ họa có trách nhiệm và tầm nhìn về sự bền vững của thiết kế để sử dụng các tài nguyên đồ họa một cách hiệu quả, có khả năng tương thích cao nhằm dễ dàng linh hoạt, đa năng trong các chiến dịch tiếp thị để sử dụng sản phẩm thiết kế trong thời gian đủ lâu dài.

Ví dụ như áp phích sử dụng hình ảnh trái táo cắn dở, một biểu tượng đơn giản nhưng đầy ý nghĩa, thể hiện sự khám phá và sáng tạo. Logo ban đầu của Apple vào năm 1976 sử dụng màu cầu vồng, điều này không chỉ tạo cảm giác vui tươi mà còn thể hiện sự đa dạng và tính sáng tạo trong công nghệ. Khám phá và sáng tạo: Trái táo cắn dở tượng trưng cho việc "cắn" vào kiến thức, khám phá những điều mới mẻ, phù hợp với sứ mệnh của Apple trong việc đổi mới công nghệ. Hình ảnh trái táo đơn giản và dễ nhớ giúp người tiêu dùng cảm thấy gần gũi và thân thiện hơn với thương hiệu. Mặc dù có nhiều màu sắc, nhưng hình dáng và kiểu dáng của logo rất tối giản, không quá phức tạp. Điều này làm cho nó dễ nhận diện và ghi nhớ. Sự tương phản giữa màu sắc của trái táo và nền làm nổi bật logo, thu hút ánh nhìn của người xem. Áp phích này không chỉ đại diện cho một sản phẩm mà còn trở thành biểu tượng của cả một phong trào công nghệ. Apple đã từ từ xây dựng thương hiệu dựa trên sự đổi mới và thiết kế tối giản. Đột phá trong thiết kế thương hiệu: Logo và áp phích của Apple từ năm 1976 đã mở ra một kỷ nguyên mới trong thiết kế thương hiệu công nghệ, khuyến khích nhiều công ty khác theo đuổi sự đơn giản và sáng tạo. Mặc dù logo đã thay đổi theo thời gian, giá trị cốt lõi

của sự sáng tạo và đổi mới vẫn được giữ vững trong nhận diện thương hiệu của Apple.



Hình 2. Áp phích biểu tượng Apple 1976 Retrieved from. [11]

Tiết kiệm năng lượng khi hiển thị bên cạnh việc giảm thiểu tài nguyên trong quy trình thiết kế, thiết kế tối giản còn có lợi trong việc tiết kiệm năng lượng khi hiển thị trên các thiết bị kỹ thuật số. Các thiết kế tối giản thường sử dụng ít hình ảnh, màu sắc và hiệu ứng phức tạp, giúp giảm tải cho card đồ họa và màn hình. Điều này không chỉ giúp tiết kiệm năng lượng tiêu thụ mà còn cải thiện thời gian tải trang và hiệu suất hoạt động của trang web hoặc ứng dụng. Thêm vào đó, thiết kế tối giản thường có khả năng thích ứng tốt với nhiều loại thiết bị, từ máy tính để bàn đến điện thoại di động, từ đó mang lại trải nghiệm người dùng tối ưu mà không gây áp lực lớn lên tài nguyên hệ thống.

2.3 Sử dụng vật liệu tái chế

Việc áp dụng giấy tái chế và mực sinh học trong ngành thiết kế đồ họa không chỉ góp phần giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường mà còn bảo tồn tài nguyên thiên nhiên. Giấy tái chế được

sản xuất từ các nguồn chất thải như giấy báo, tạp chí hoặc giấy in lỗi, từ đó làm giảm nhu cầu khai thác gỗ từ rừng. Hơn nữa, giấy tái chế thường có chất lượng cao và có thể được ứng dụng cho nhiều loại sản phẩm thiết kế khác nhau. Đồng thời, việc sử dụng mực sinh học, chiết xuất từ các thành phần tự nhiên như thực vật, giúp hạn chế phát thải hóa chất độc hại vào môi trường so với các loại mực truyền thống. Những sản phẩm thiết kế sử dụng giấy tái chế và mực sinh học không chỉ an toàn hơn cho sức khỏe con người mà còn thể hiện một cam kết mạnh mẽ đối với tính bền vững.

Tái sử dụng hình ảnh và đồ họa là một trong những phương pháp hiệu quả nhằm giảm thiểu lãng phí tài nguyên trong thiết kế đồ họa. Việc tái sử dụng cho phép các nhà thiết kế tiết kiệm thời gian và công sức trong việc tạo ra các yếu tố đồ họa mới, đồng thời giảm nhu cầu sử dụng tài nguyên cho các dự án mới. Các hình ảnh, biểu tượng và đồ họa có thể được chỉnh sửa và kết hợp lại để tạo ra sản phẩm mới mà không cần thiết phải phát minh lại từ đầu. Các thư viện hình ảnh miễn phí bản quyền và các tài nguyên thiết kế trực tuyến cũng cung cấp nhiều lựa chọn để các nhà thiết kế dễ dàng tiếp cận và sử dụng, qua đó giảm thiểu tác động đến môi trường bằng cách tối ưu hóa quy trình thiết kế. Do đó, việc áp dụng thiết kế đồ họa thân thiện với môi trường trong các doanh nghiệp Việt Nam không chỉ giúp cải thiện hình ảnh thương hiệu mà còn mang lại lợi ích kinh tế thông qua việc tối ưu hóa tài nguyên và giảm thiểu chất thải. Điều này phản ánh xu hướng ngày càng tăng của các doanh nghiệp trong việc chú trọng đến yếu tố bền vững trong chiến lược phát triển. Nhiều công ty in ấn hiện nay đã bắt đầu sử dụng giấy tái chế cho các sản phẩm in ấn của họ.



Hình 3. Sản phẩm giấy tái chế từ vật liệu thải bỏ. [12]

Chẳng hạn, công ty EcoPaper cung cấp giấy được sản xuất hoàn toàn từ chất thải giấy, giúp giảm thiểu lượng cây xanh bị chặt hạ. Việc này không chỉ góp phần bảo vệ môi trường mà còn thể hiện sự cam kết của các doanh nghiệp đối với phát triển bền vững. Hoặc nhiều nhân vật chủ chốt trong ngành hàng F&B đã tiên phong trong việc sử dụng bao bì giấy. Các thương hiệu cà phê, trà sữa, kem nổi tiếng đã sử dụng bao bì xanh cho sản phẩm của họ: Kem Hokkaido, Trà sữa Phúc Long, Starbucks,... Đây là bước đi tiên phong trong công cuộc thực hiện xu hướng sống xanh, tạo nên ấn tượng đẹp cho khách hàng của họ. Và đây cũng vừa là công cụ PR hiệu quả, cho thấy tầm nhìn và trách nhiệm đối với môi trường của các doanh nghiệp lớn. Thị trường online phát triển mạnh những năm gần đây kết hợp với dịch vụ giao hàng nhanh chóng đã giúp cho ngành hàng thực phẩm phát triển mạnh. Nhu cầu sử dụng bao bì giấy như các loại hộp giấy đựng thức ăn, tô giấy, ly giấy,... tăng trưởng nhanh chóng.

Hơn nữa, nhịp sống gấp gáp và nhu cầu công việc đòi hỏi mọi thứ cũng phải ưu tiên tính nhanh, gọn, tiện lợi. Người tiêu dùng chọn lựa những sản phẩm, dịch vụ đáp ứng tính tiện lợi nhưng vẫn phải đảm bảo sức khỏe. Do vậy mà các sản phẩm giấy thay thế nhựa dùng một lần là lựa chọn thị trường dịch vụ thực phẩm là một trong những thị trường phát triển nhanh nhất và được kỳ vọng nhất về việc tiêu thụ bao bì giấy. Tỷ trọng tiêu thụ giấy của ngành này không cao (<1%) so với tổng thể nhưng tốc độ phát triển mạnh, là thị trường tiềm năng cho bao bì giấy phát triển và lan rộng. Sự nhìn nhận về tiềm năng thị trường là chính xác và hoàn toàn có cơ sở. Nhận thức của người tiêu dùng ngày càng tăng cao. Họ ý thức và ưu tiên lựa chọn bao bì xanh trong tiêu dùng nhằm bảo vệ sức khỏe của bản thân, gia đình và cải thiện môi trường sống. Những áp lực từ chính phủ và thị trường quốc tế về việc hạn chế bao bì nylon, nhựa, chất thải rắn và sự kiểm soát chặt chẽ nhằm nỗ lực tạo nên môi trường sống lành mạnh đã một phần thúc đẩy công nghiệp sản xuất bao bì giấy ngày càng phát triển. Các công ty hoạt động trong ngành bao bì giấy cũng rất nỗ lực tạo ra các sản phẩm có thể hoàn toàn thay thế bao bì nhựa. Các sản phẩm dùng một lần như tô giấy, túi giấy, ống hút giấy, hộp giấy, quai xách giấy và ly giấy đã ra đời và được thị trường đón nhận.

Thay vì sử dụng nguyên liệu mới, thiết kế đồ họa bền vững sử dụng nguyên liệu tái chế như giấy tái chế, mực in không chứa hóa chất độc hại

và các vật liệu khác có nguồn gốc phế phẩm tái chế như: Giấy kraft, bã mía, túi nylon tự phân hủy, v.v.



Hình 4. Thiệp chúc mừng làm từ phân voi.[13]

Mực sinh học của Công ty Print Releaf đại diện cho một giải pháp in ấn tiên tiến nhằm giảm thiểu ô nhiễm môi trường. Loại mực này được chiết xuất từ các nguồn thực vật tự nhiên, không chứa các hóa chất độc hại, từ đó bảo vệ sức khỏe của người sử dụng và đồng thời giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường. Việc sử dụng mực sinh học không chỉ góp phần vào việc bảo vệ sức khỏe con người mà còn thể hiện cam kết của các công ty đối với sự bền vững và bảo vệ tài nguyên thiên nhiên. Trong ngành thiết kế đồ họa, việc tái sử dụng hình ảnh và đồ họa đã trở thành một phương pháp hiệu quả để tiết kiệm tài nguyên và giảm lãng phí. Các thư viện hình ảnh miễn phí như Unsplash và Pexels cung cấp hàng triệu hình ảnh bản quyền mà nhà thiết kế có thể dễ dàng truy cập, sử dụng và chỉnh sửa cho các dự án của mình. Sử dụng các hình ảnh có sẵn giúp tiết kiệm thời gian và tài nguyên, đồng thời giảm nhu cầu phải sáng tạo hình ảnh mới từ đầu. Điều này không chỉ giảm thiểu việc sử dụng tài nguyên mà còn tạo điều kiện cho các nhà thiết kế tập trung vào việc phát triển ý tưởng sáng tạo mới mà không bị phân tán bởi việc tìm kiếm và tạo ra hình ảnh. Bên cạnh đó, các nền tảng thiết kế trực tuyến như Canva cũng mang lại những lợi ích đáng kể cho các nhà thiết kế. Những công cụ này cho phép người dùng truy cập hàng ngàn mẫu đồ

họa và hình ảnh, giúp họ dễ dàng chỉnh sửa và kết hợp các yếu tố có sẵn để tạo ra sản phẩm mới. Việc sử dụng các nền tảng thiết kế trực tuyến không chỉ giúp tối ưu hóa quy trình thiết kế mà còn giảm thiểu lãng phí tài nguyên, nhờ vào khả năng chia sẻ và tái sử dụng các yếu tố thiết kế.

Thiết kế cho sự bền vững lâu dài đã trở thành một yếu tố không thể thiếu trong ngành thiết kế đồ họa, đặc biệt khi môi trường ngày càng bị ảnh hưởng bởi các hoạt động sản xuất và tiêu thụ. Các sản phẩm được thiết kế với khả năng dễ dàng cập nhật và tái sử dụng không chỉ giúp giảm thiểu lượng rác thải mà còn tiết kiệm thời gian và tài nguyên. Những sản phẩm này cho phép người dùng hoặc các nhà thiết kế khác dễ dàng thay đổi nội dung mà không cần phải bắt đầu lại từ đầu. Ví dụ, một thiết kế quảng cáo có thể được xây dựng với các khung hình linh hoạt, cho phép thay đổi hình ảnh, văn bản hoặc màu sắc một cách dễ dàng theo từng mùa hoặc sự kiện. Điều này không chỉ giúp tiết kiệm chi phí sản xuất mà còn giữ cho nội dung luôn mới mẻ và phù hợp với thị hiếu của người tiêu dùng. Một ví dụ tiếp theo nổi bật về thiết kế tái sử dụng trong ngành công nghiệp hiện nay là bao bì thực phẩm. Nhiều thương hiệu lớn như Coca-Cola đã bắt đầu phát triển các sản phẩm bao bì có thể tái sử dụng, chẳng hạn như các chai nhựa có thể được nạp lại nhiều lần. Những thiết kế bao bì này không chỉ thu hút người tiêu dùng mà còn khuyến khích họ tham gia vào việc bảo vệ môi trường bằng cách giảm thiểu rác thải. Bên cạnh đó, việc áp dụng các mẫu thiết kế có thể chỉnh sửa và sử dụng cho nhiều sản phẩm khác nhau, như nhãn mác, cũng góp phần vào tính bền vững của sản phẩm. Matthias Blume, người đứng đầu các nhóm marketing của Coca-Cola tại Đông Nam Á và Nam Thái Bình Dương, đã chia sẻ rằng tất cả chai và lon của họ đều có thể tái chế, và họ mong muốn sử dụng sức mạnh của các thương hiệu để mang đến bao bì những cuộc sống khác. Thông qua những nỗ lực này, có thể thấy rằng ngành thiết kế đồ họa đang ngày càng hướng tới sự bền vững, không chỉ nhằm đáp ứng nhu cầu của thị trường mà còn góp phần vào việc bảo vệ môi trường và bảo tồn tài nguyên thiên nhiên cho thế hệ tương lai.

Vừa qua, Coca-Cola đã tung ra thông điệp tái chế "Recycle Me" trên bao bì của tất cả các thương hiệu và sản phẩm ở thị trường Đông Nam Á như hình 5. Đây là động thái lớn nhất từ trước

đến nay của nhãn hàng nhằm đưa ra thông điệp tái chế qua việc sử dụng bao bì.



Hình 5. Thiết kế bao bì của Coca-Cola được thiết kế ẩn tượng trên lon nhằm góp phần thay đổi nhận thức của người dùng về bảo vệ môi trường. [14]

Sáng kiến “Recycle Me” là động thái mới nhất của Coca-Cola như là một phần trong việc tiếp cận toàn diện để giải quyết rác thải bao bì trên khắp Đông Nam Á. Công ty đã tung ra các loại chai làm từ 100% nhựa tái chế tại một số thị trường lớn nhất trong khu vực như Philippines. Bên cạnh đó, công ty cũng chuyển bao bì Sprite xanh sang nhựa trong trên khắp Singapore, Malaysia, Việt Nam, Thái Lan, Indonesia và Philippines để giúp quy trình tái chế chai dễ dàng hơn. Ví dụ, công ty Ecover sản xuất các sản phẩm tẩy rửa với bao bì có thể được tái sử dụng và làm sạch để sử dụng lại, giúp giảm lượng chất thải nhựa.

2.4. Thực tiễn và ứng dụng công nghệ xanh

Công ty và tổ chức tiên phong trong việc áp dụng công nghệ xanh có thể kể đến Adobe, một công ty phần mềm hàng đầu cam kết sử dụng 100% năng lượng tái tạo cho các văn phòng và trung tâm dữ liệu của mình. Điều này không chỉ giúp giảm thiểu tác động đến môi trường mà còn cho thấy trách nhiệm của công ty trong việc bảo vệ tài nguyên thiên nhiên. Ngoài ra, Adobe cũng phát triển các công cụ giúp nhà thiết kế tối ưu hóa quy trình làm việc, từ đó giảm thiểu lượng tài nguyên tiêu thụ trong quá trình thiết kế. Công ty Frog Design cũng tích cực tham gia vào việc sử dụng vật liệu tái chế và thiết kế sản phẩm bền vững. Họ đã phát triển một sản phẩm bao bì cho một thương hiệu thực phẩm, sử dụng vật liệu nhựa tái chế, góp phần vào việc giảm thiểu rác thải nhựa trong môi trường. Nhiều dự án thành công trong ngành thiết kế cũng đáng được đề cập,

điển hình là dự án “Green Book” của Adobe, một sáng kiến nhằm nâng cao nhận thức về bền vững trong ngành thiết kế. Dự án này đã phát hành một cuốn sách điện tử, chia sẻ các chiến lược và thực hành tốt nhất cho thiết kế xanh, bao gồm việc sử dụng phần mềm giúp giảm thiểu lượng năng lượng tiêu thụ. Một ví dụ khác là chiến dịch “Eco-Design” của IKEA, trong đó công ty nhấn mạnh việc sử dụng vật liệu tái chế trong sản xuất đồ nội thất, như các sản phẩm được làm từ nhựa tái chế và gỗ bền vững. Chiến dịch này đã thu hút được sự chú ý lớn từ cộng đồng và thể hiện cam kết của IKEA đối với sự bền vững.

Đối với các nhà thiết kế, có nhiều phương pháp và công cụ có thể được áp dụng để tối ưu hóa quy trình thiết kế và tiết kiệm tài nguyên. Các phần mềm như Sketch và Figma cho phép tạo ra các thiết kế hiệu quả, đồng thời giúp giảm thiểu lãng phí. Việc áp dụng các phương pháp thiết kế tối giản và dễ dàng chỉnh sửa cũng là những bước quan trọng trong việc cải thiện quy trình thiết kế. Hướng dẫn thiết kế bền vững được cung cấp bởi các tổ chức như AIGA (Hiệp hội Thiết kế Mỹ) cũng rất hữu ích cho các nhà thiết kế, giúp họ thực hành thiết kế bền vững từ việc lựa chọn vật liệu cho đến cách tối ưu hóa quy trình làm việc.



Hình 6. Chiến dịch “Eco-friendly Packaging” của Nestlé [15]

Ngoài ra, các khóa học trực tuyến trên nền tảng như Coursera và edX cung cấp các chương trình học về thiết kế bền vững và công nghệ xanh, giúp các nhà thiết kế nâng cao hiểu biết và kỹ năng trong việc áp dụng công nghệ xanh vào công việc của mình. Tuy nhiên, việc triển khai thiết kế bền vững cũng gặp nhiều thách thức. Sự kháng cự từ nhân viên và khách hàng có thể ảnh hưởng đến việc áp dụng các sáng kiến xanh, đặc biệt là khi nhiều người chưa nhận thức đầy đủ về lợi ích của thiết kế bền vững và thường ưu tiên giá cả hơn chất lượng môi trường. Chất lượng thiết kế cũng là một vấn đề cần được lưu tâm khi chuyển sang công nghệ xanh. Một số vật liệu thân thiện với môi trường có thể không đạt tiêu chuẩn chất

lượng cao như các vật liệu truyền thống, khiến các nhà thiết kế gặp khó khăn trong việc giữ nguyên bản chất và tính thẩm mỹ của sản phẩm. Một ví dụ nổi bật về doanh nghiệp áp dụng công nghệ xanh tại Việt Nam là Công ty TNHH Tư vấn Thiết kế Đồ họa và Truyền thông Artdirection. Công ty này đã tích cực sử dụng các tài liệu tái chế trong các dự án thiết kế và khuyến khích khách hàng lựa chọn các giải pháp thiết kế bền vững. Chiến dịch “Eco-friendly Packaging” của Nestlé Việt Nam như hình 6 cũng là một minh chứng cho sự cam kết trong việc thiết kế bao bì thân thiện với môi trường, sử dụng vật liệu tái chế và nhấn mạnh thông điệp bảo vệ môi trường trong các sản phẩm thực phẩm. Tại Việt Nam, các phần mềm thiết kế như Adobe Creative Cloud và Canva được các nhà thiết kế sử dụng để tối ưu hóa tài nguyên, tiết kiệm thời gian và giảm thiểu lượng giấy và mực in. Khóa học thiết kế bền vững đang ngày càng trở nên quan trọng trong giáo dục, đặc biệt tại các cơ sở đào tạo như Trường Đại học Mỹ thuật Công Nghiệp và Đại học Duy Tân. Những khóa học này không chỉ nâng cao ý thức về môi trường mà còn trang bị cho sinh viên những kỹ năng cần thiết để áp dụng công nghệ xanh trong thực tế. Một chương trình như Đồ án thiết kế Bao bì dưới sự hướng dẫn của Thầy Hoàng Việt Quốc là một ví dụ điển hình, trong đó sinh viên học cách thiết kế bao bì không chỉ đẹp mắt mà còn thân thiện với môi trường, sử dụng các vật liệu tái chế hoặc dễ phân hủy, góp phần vào việc giảm thiểu rác thải và bảo vệ tài nguyên thiên nhiên. Việc tích hợp thiết kế bền vững vào chương trình học phản ánh xu hướng toàn cầu hiện nay, nơi mà sự bền vững ngày càng trở thành một yếu tố quan trọng trong mọi lĩnh vực thiết kế. Nhiều trường đại học cũng tổ chức hội thảo và cuộc thi về thiết kế bền vững, khuyến khích sinh viên đưa ra các giải pháp sáng tạo cho các vấn đề môi trường, như thiết kế bao bì thân thiện với môi trường hoặc các sản phẩm tái chế. Những hội thảo này thường mời các chuyên gia trong lĩnh vực thiết kế và môi trường để chia sẻ kiến thức, xu hướng mới và những thách thức trong thiết kế bền vững, tạo điều kiện cho sinh viên học hỏi và trao đổi ý tưởng.

Cuối cùng, các hội thảo như Hội thảo Quốc tế về Thiết kế bền vững được tổ chức tại Việt Nam thu hút sự tham gia của nhiều nhà thiết kế, doanh nghiệp và sinh viên, cung cấp thông tin và chia sẻ kinh nghiệm về việc áp dụng công nghệ xanh trong thiết kế. Một trong những thách thức lớn

hiện nay là chi phí đầu tư vào công nghệ xanh vẫn còn cao, đặc biệt đối với các doanh nghiệp nhỏ và vừa. Nhiều công ty vẫn còn e ngại khi đầu tư vào thiết bị và quy trình sản xuất thân thiện với môi trường do lo ngại về lợi nhuận. Bên cạnh đó, sự kháng cự từ một số khách hàng cũng là vấn đề cần giải quyết, khi họ chưa nhận thức đầy đủ về lợi ích của thiết kế bền vững và thường ưu tiên giá cả hơn chất lượng môi trường. Để giải quyết những thách thức này, các nhà thiết kế cần tìm kiếm các giải pháp đảm bảo rằng việc sử dụng vật liệu tái chế không làm giảm chất lượng và tính thẩm mỹ của sản phẩm. Ngày 7/9/2023, Công ty CP Chứng khoán KB Việt Nam (KBSV) đã chính thức khởi động chiến dịch “Góp xanh Việt Nam” hình 7, với mục tiêu trồng rừng đầu nguồn tại Vườn quốc gia Bến En, tỉnh Thanh Hóa. Poster của chiến dịch này được thiết kế với hình ảnh tươi sáng và bắt mắt, nhằm thu hút sự chú ý của cộng đồng đối với việc bảo vệ môi trường. Nền poster sử dụng gam màu xanh lá cây

chủ đạo, tượng trưng cho thiên nhiên, sự tươi mát và phát triển bền vững. Hình ảnh cây xanh và những người tham gia hoạt động trồng rừng được đặt ở trung tâm, thể hiện sự gắn kết của cộng đồng trong nỗ lực bảo vệ hệ sinh thái và ứng phó với biến đổi khí hậu. Logo của KBSV nổi bật ở góc trên bên trái, kết hợp với slogan "Góp xanh Việt Nam" được viết bằng phông chữ to rõ ràng, nhấn mạnh thông điệp của chiến dịch về sự cần thiết phải bảo vệ môi trường. Phần dưới poster có các thông tin chi tiết về thử thách "Move for trees" nhằm khuyến khích sự tham gia và chia sẻ trên mạng xã hội. Bên cạnh đó, poster cũng hiển thị hình ảnh quà tặng hấp dẫn dành cho những người tham gia sớm, tạo động lực cho cộng đồng tích cực tham gia vào việc bảo vệ môi trường thông qua những hành động cụ thể. Thiết kế tổng thể vừa gần gũi, vừa chuyên nghiệp, phù hợp với mục tiêu truyền tải thông điệp sống xanh và bảo vệ thiên nhiên đến đông đảo người dân Việt Nam.



Hình 7. Poster chiến dịch "Góp xanh Việt Nam" quảng cáo xã hội nhấn mạnh vào các vấn đề môi trường. (Nguồn: KBSV, 07/9/2023)

2.5 Tương lai của Thiết kế đồ họa và công nghệ thân thiện môi trường

Trong những năm tới, công nghệ xanh dự kiến sẽ đóng vai trò thiết yếu trong quy trình thiết kế đồ họa, với việc các nhà thiết kế ngày càng áp dụng nhiều công nghệ thân thiện với môi trường hơn. Sự phát triển này không chỉ bao gồm việc sử dụng phần mềm tối ưu hóa tài nguyên mà còn cả các phương pháp in ấn không gây hại cho môi trường. Đồng thời, việc khuyến khích phát triển

các vật liệu bền vững và thân thiện với môi trường sẽ tạo ra một môi trường thiết kế trong đó mọi sản phẩm đều có thể được sản xuất mà không làm tổn hại đến hành tinh. Ngoài ra, các xu hướng thiết kế như thiết kế tối giản và sử dụng màu sắc tiết kiệm năng lượng sẽ ngày càng trở nên phổ biến. Những phương pháp này không chỉ giúp giảm thiểu tác động môi trường của các sản phẩm đồ họa mà còn khuyến khích sự sáng tạo trong việc tạo ra các thiết kế tinh tế và hiệu quả hơn.

Trong bối cảnh này, trí tuệ nhân tạo (AI) đang nổi lên như một công cụ quan trọng trong ngành thiết kế đồ họa. AI có khả năng phân tích dữ liệu và cung cấp những khuyến nghị về cách sử dụng tài nguyên một cách hiệu quả. Thông qua việc hỗ trợ các nhà thiết kế trong việc lựa chọn màu sắc và tối ưu hóa bố cục, AI có thể giúp tạo ra các sản phẩm không chỉ tối ưu hóa cho năng lượng mà còn giảm thiểu lãng phí vật liệu trong quy trình thiết kế và sản xuất. Sự phát triển của công nghệ xanh, nhờ vào vai trò của AI, dự kiến sẽ định hình lại ngành thiết kế đồ họa theo hướng bền vững hơn. Các nhà thiết kế sẽ không chỉ phải thể hiện sự sáng tạo mà còn phải có trách nhiệm trong việc bảo vệ môi trường, dẫn đến việc hình thành các tiêu chuẩn mới trong thiết kế với trọng tâm là sử dụng các công nghệ và phương pháp bền vững. Điều này cũng đồng nghĩa với việc các doanh nghiệp sẽ bắt đầu ưu tiên tuyển dụng những nhà thiết kế có kinh nghiệm trong lĩnh vực công nghệ xanh, thúc đẩy sự phát triển của các chương trình đào tạo về thiết kế bền vững tại các trường học và tổ chức giáo dục.

Bên cạnh đó, sự thay đổi trong nhận thức của khách hàng cũng đang tạo ra những tác động mạnh mẽ đến nhu cầu thị trường đối với các sản phẩm thiết kế. Khi người tiêu dùng ngày càng trở nên ý thức hơn về vấn đề môi trường, các doanh nghiệp sẽ buộc phải điều chỉnh chiến lược tiếp thị và phát triển sản phẩm của mình để đáp ứng nhu cầu ngày càng cao về thiết kế bền vững. Xu hướng tiêu dùng này mở ra cơ hội cho các nhà thiết kế sáng tạo ra các sản phẩm độc đáo và thân thiện với môi trường, từ đó không chỉ mở rộng thị trường mà còn tạo ra lợi thế cạnh tranh. Các thương hiệu sẽ cần xây dựng hình ảnh thân thiện với môi trường để thu hút khách hàng và đáp ứng kỳ vọng ngày càng cao của họ. Tóm lại, sự chuyển mình của ngành thiết kế đồ họa hướng tới công nghệ xanh không chỉ phản ánh sự thay đổi trong tiêu dùng mà còn là một bước tiến quan trọng để đảm bảo sự phát triển bền vững cho tương lai.

3. Kết luận

Như vậy, nghiên cứu này đã cung cấp cái nhìn toàn diện về sự phát triển ngày càng quan trọng của công nghệ thân thiện với môi trường trong lĩnh vực thiết kế đồ họa. Bằng cách phân tích các xu hướng và thực tiễn hiện tại, bài báo đã làm nổi bật những lợi ích rõ ràng mà việc áp dụng công nghệ xanh mang lại. Cụ thể, các phương pháp thiết kế bền vững như thiết kế tối giản, việc sử

dụng vật liệu tái chế và công nghệ in ấn sinh học đang ngày càng trở nên phổ biến. Những phương pháp này không chỉ giúp giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường mà còn mang lại lợi ích kinh tế cho các doanh nghiệp thông qua việc tiết kiệm chi phí sản xuất và cải thiện hình ảnh thương hiệu. Ngoài ra, nghiên cứu cũng đã đề xuất những khuyến nghị thiết thực nhằm thúc đẩy một tương lai bền vững hơn. Chúng tôi kêu gọi các nhà thiết kế, doanh nghiệp và tổ chức tích cực áp dụng công nghệ xanh trong quy trình làm việc của họ. Hành động này không chỉ có ý nghĩa quan trọng trong việc bảo vệ môi trường mà còn góp phần xây dựng thương hiệu và nâng cao giá trị sản phẩm trong tâm trí người tiêu dùng. Sự chuyển đổi này yêu cầu sự hợp tác chặt chẽ và nỗ lực đồng lòng từ tất cả các bên liên quan trong ngành thiết kế, nhằm tạo ra một hệ sinh thái thiết kế bền vững và có trách nhiệm hơn. Hướng nghiên cứu tiếp theo trong lĩnh vực thiết kế và công nghệ thân thiện với môi trường nên tập trung vào việc phát triển các công nghệ mới và cải tiến quy trình thiết kế hiện tại để tối ưu hóa hiệu quả sử dụng tài nguyên. Chúng tôi cũng khuyến nghị nghiên cứu sâu hơn về tiềm năng của trí tuệ nhân tạo và học máy trong việc phát triển các giải pháp thiết kế bền vững. Việc khám phá các mô hình kinh doanh mới có khả năng tích hợp công nghệ xanh vào sản phẩm thiết kế sẽ là một lĩnh vực quan trọng cần được chú trọng trong tương lai. Những bước đi này không chỉ thúc đẩy sự đổi mới trong thiết kế đồ họa mà còn góp phần vào một nền kinh tế xanh và bền vững hơn.

4. Tài liệu tham khảo

1. McDonough, W. and Braungart, M. (2013). *The upcycle*. New York: North Point Press, A Division Of Farrar, Straus And Giroux.
2. Nguyễn Văn An. (2022). *Thiết kế đồ họa và sự phát triển bền vững: Những thách thức và cơ hội*. Hà Nội: Nhà xuất bản Mỹ thuật.
3. Trần Thị Lan. (2021). "Tác động của thiết kế đồ họa đến nhận thức cộng đồng về bảo vệ môi trường". *Tạp chí Nghiên cứu và Phát triển*, 15(3), 45-50.
4. Phạm Thanh Hải. (2019). "Công nghệ xanh trong thiết kế đồ họa: Xu hướng và triển vọng". *Tạp chí Khoa học Công nghệ Việt Nam*, 8(1), 23-30.
5. Nguyễn Thị Hồng. (2018). "Sáng tạo trong thiết kế đồ họa: Những khía cạnh về tính bền vững". *Tạp chí Thiết kế và Đời sống*, 7(2), 18-25.
6. Trường Đại học Mỹ thuật Công nghiệp. (2020). "Đổi mới sáng tạo trong thiết kế đồ họa: Định hướng phát triển bền vững". *Tạp chí Nghiên cứu Mỹ thuật*, 12(1), 12-20.
7. Nguyễn Văn Bình. (2021). "Đánh giá hiệu quả của thiết kế đồ họa thân thiện môi trường tại các doanh

nghiệp Việt Nam". Tạp chí Kinh tế và Dự báo, 6(4), 30-35.

8. Quang Huy. (2019). "Xu hướng thiết kế đồ họa bền vững trong môi trường kinh doanh hiện đại". Tạp chí Thương mại và Kinh doanh, 9(3), 40-46.

9. Nguyễn Thị Kim Chi. (2022). "Vai trò của thiết kế đồ họa trong việc nâng cao nhận thức về bảo vệ môi trường". Tạp chí Nghiên cứu và Ứng dụng Công nghệ Thông tin, 10(2), 15-22.

10. <https://jp.pinterest.com/pin/640918590745900298/>, 28/11/2024.

11. <https://www.apple.com/history> ngày 25/10/2024.

12. <https://www.ecopaper.com>, ngày 28/10/2024

13.

<https://www.etnet.com.hk/www/tc/lifestyle/archive/thatswhy/23055>, ngày 28 tháng 10 năm 2024.

14. <https://blueblack.vn/coca-cola-in-thong-diep-hay-tai-che-toi-len-chinh-bao-bi-san-pham> ngày 28 tháng 10 năm 2024).

15. https://markettimes.vn/ceo-moi-cua-nestle-cam-doan-giu-vung-hoat-dong-cua-tap-doan-khi-tuyen-bo-tai-cau-truc-cong-ty-158-nam-lich-su-66829.html#google_vignette)

Giải pháp thiết kế vỏ bao che nhằm nâng cao hiệu quả năng lượng cho văn phòng cao tầng

The solutions of building envelope design to improve energy efficiency in high-rise offices

Luong Xuân Hiếu

Faculty of Architecture, Duy Tan University. 03 Quang Trung Street, Danang City

Email: luongxuanhieu@duytan.edu.vn

Tóm tắt: Năng lượng và sử dụng hiệu quả năng lượng đang là mối quan tâm hàng đầu trong các lĩnh vực toàn cầu hiện nay. Theo tính toán, lĩnh vực kiến trúc - xây dựng hiện chiếm tỷ trọng rất lớn (gần 50% tổng năng lượng tiêu thụ trên thế giới). Trong khi đó, Việt Nam lại có những điều kiện khí hậu thuận lợi, có thể tận dụng để thiết kế lớp vỏ công trình với mục tiêu cải thiện tiện nghi nhiệt và giảm tiêu thụ năng lượng (hơn 60% thời gian trong năm khí hậu đạt trạng thái tiện nghi). Tuy nhiên, việc tận dụng những yếu tố tự nhiên có lợi để nâng cao điều kiện tiện nghi nhiệt và giảm tiêu thụ năng lượng cho công trình nói chung và cao ốc văn phòng lại chưa nhận được sự quan tâm đúng mức. Và thành phần quan trọng nhất ảnh hưởng đến hiệu quả năng lượng của công trình chính là lớp vỏ bao che.

Báo cáo đề xuất các giải pháp thiết kế lớp vỏ bao che nhằm nâng cao hiệu quả năng lượng cho công trình văn phòng cao tầng ở nước ta trên cơ sở đánh giá tác động đồng thời của nhiều yếu tố ảnh hưởng đến mức tiêu thụ năng lượng như: Thông gió tự nhiên - Chiếu sáng tự nhiên - Điều hoà không khí.

Abstract: Energy and efficient use of energy are the top concerns in the current global fields. Accounting the energy spent for architecture - construction, this energy accounted for a large proportion (nearly 50% of the total energy consumption). Meanwhile, Vietnam has favorable climatic conditions that can be taken advantage of design building envelopes with the goal of improving thermal comfort and reducing energy consumption (more than 60% of the time during the climate year after reaching a state of comfort). However, taking advantage of beneficial natural elements to improve thermal comfort conditions and reduce energy consumption for buildings in general and office buildings has not received adequate attention. And the most important component that affects the energy efficiency of a building is the envelope.

The report proposes envelope design solutions to improve energy efficiency for high-rise office buildings in our country based on assessing the simultaneous impact of many factors affecting energy consumption quality such as: Natural ventilation - Natural lighting - Air conditioning.

Keywords: *Energy efficiency; high-rise office buildings; envelope design; natural ventilation; natural lighting; air conditioning.*

Từ khóa: *hiệu quả năng lượng; văn phòng cao tầng; vỏ bao che; thông gió tự nhiên; chiếu sáng tự nhiên; điều hoà không khí.*

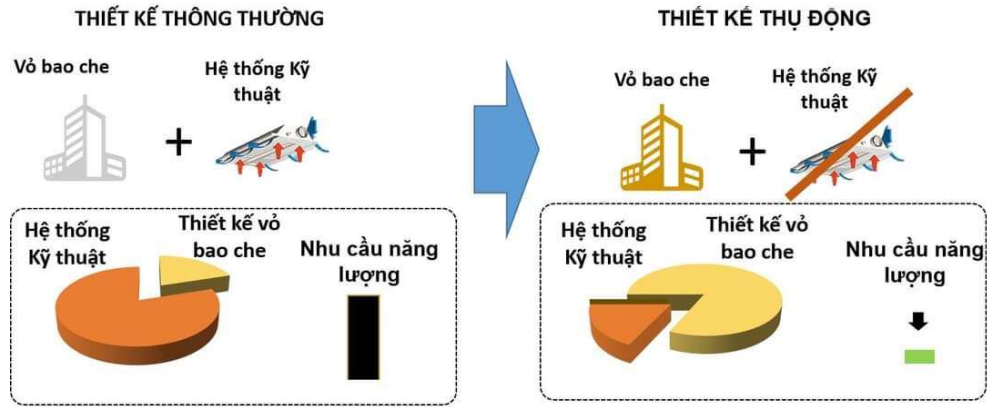
1. Tổng quan

Là một quốc gia được thiên nhiên ưu đãi về điều kiện tự nhiên và khí hậu, Việt Nam có nhiều thế mạnh trong thiết kế kiến trúc thích ứng với khí hậu địa phương nhằm tạo môi trường khí hậu tiện nghi, sử dụng tiết kiệm, hiệu quả năng lượng và đảm bảo cân bằng sinh thái. Bên cạnh đó, việc hạn chế những tác động bất lợi của khí hậu đối với kiến trúc là một yêu cầu bắt buộc trong quá trình thiết kế.

Các kết quả nghiên cứu cho thấy, trong giai đoạn 2050 – 2080, nhiệt độ ở các thành phố lớn tăng khoảng 2,18 – 3,88°C; nhu cầu tiêu thụ năng lượng làm mát của các tòa nhà gia tăng từ 4,8% - 100,6% tùy theo chủng loại công trình. Theo số liệu thống kê của World Bank và các điều tra liên quan, xây dựng - kiến trúc tiêu thụ tới khoảng 70% tổng sử dụng vật liệu tự nhiên, khoảng 40% tổng tiêu thụ năng lượng điện, và sản sinh ra khoảng 30% tổng lượng "khí nhà kính" trên toàn thế giới [Phạm Ngọc Đăng, Nguyễn Việt Anh, 2014].

Ở Việt Nam, theo báo cáo của Bộ Xây dựng, tổng tiêu thụ năng lượng của các tòa nhà dân dụng của nước ta ngày càng tăng, cụ thể: năm 2003 chiếm 22,4%, đến năm 2014 chiếm khoảng 37 - 38% tổng mức tiêu thụ năng lượng của quốc gia. Theo thông tin của Tập đoàn điện lực Việt Nam (EVN), tỷ lệ sử dụng điện trong công trình nhà ở và hành chính chiếm trên 88 % tỷ lệ sử dụng điện trong các công trình xây dựng.

Mặt khác, việc thiết kế vỏ bao che của công trình, đặc biệt là văn phòng ở nước ta hiện nay chưa có nhiều công trình nghiên cứu đầy đủ và đồng bộ dẫn đến sự phụ thuộc nhiều vào các hệ thống kỹ thuật trong quá trình vận hành, từ đó giảm hiệu quả sử dụng năng lượng cũng như mức độ tiện nghi của điều kiện vi khí hậu bên trong công trình [Phạm Ngọc Đăng và các cộng sự, 2014]. Từ kết quả đạt được cũng cho thấy, cần kết hợp nhiều giải pháp thiết kế thụ động để đạt hiệu quả tối ưu [Phạm Đức Nguyên, 2016].



Hình 1. Sự khác nhau về mức tiêu thụ năng lượng đối với thiết kế vỏ bao che thông thường và thụ động [Lê Lương Vàng, 2021].
Do vậy, hiệu quả năng lượng đã, đang và sẽ là mối quan tâm hàng đầu trong thiết kế và xây dựng các công trình. Trong đó, việc thiết kế vỏ bao che của công trình, đặc biệt là văn phòng cao tầng còn rất nhiều bất cập mặc dù đây là thành phần quan trọng nhất trong việc tạo lập môi trường tiện nghi cho cảm giác nhiệt của con người, tuy nhiên cho đến nay chưa có nhiều công trình nghiên cứu đầy đủ và đồng bộ dẫn đến sự phụ thuộc nhiều vào các hệ thống kỹ thuật trong quá trình vận hành, từ đó giảm hiệu quả sử dụng năng lượng cũng như mức độ tiện nghi của điều kiện vi khí hậu bên trong công trình [Hoàng Mạnh Nguyên, 2016].

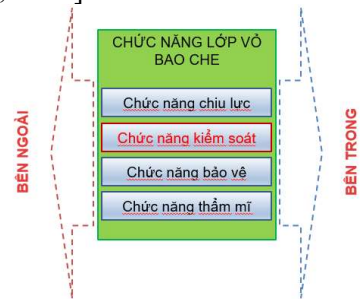


Hình 2. Phi Long Plaza – Văn phòng cao tầng hiếm hoi có quan tâm đến giải pháp vỏ bao che theo giải pháp xanh.

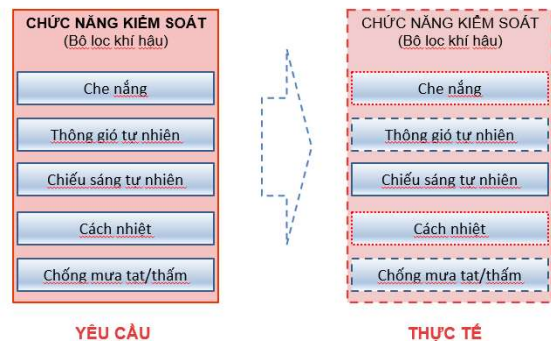
Khảo sát các công trình xanh đoạt giải hay đạt chứng chỉ tiết kiệm năng lượng ở nước ta hiện nay cho thấy HQNL đạt được đều do áp dụng cải tiến các giải pháp kỹ thuật và trang thiết bị hiện đại. Ngược lại, rất ít tòa nhà được giải công trình áp dụng các giải pháp kiến trúc thụ động, như là chọn hướng nhà, lựa chọn tỷ lệ diện tích cửa kính trên diện tích tường bao che hợp lý, thiết kế che nắng cho cửa kính, thiết kế cách nhiệt cho tường và mái nhà, tận dụng chiếu sáng tự nhiên, v.v. để giảm thiểu sử dụng điện năng. Chính vì vậy mà thông tin tại Triển lãm quốc tế năng lượng hiệu quả môi trường Entech Hà Nội 2013 đã có nhận xét rằng: “95% các công trình, tòa nhà cao tầng

2. Thực trạng và cơ sở nghiên cứu

Trên thực tế việc thiết kế, xây dựng và vận hành của phần lớn các công trình xây dựng ở nước ta chưa có sự quan tâm đúng mực đến các giải pháp hiệu quả năng lượng. Trong thiết kế, việc chọn giải pháp vỏ bao che, vật liệu, trang thiết bị chủ yếu đáp ứng yêu cầu chức năng, thẩm mỹ mà bỏ qua yếu tố hiệu quả năng lượng. Khảo sát cho thấy: “98% tòa nhà xây trong năm năm trở lại đây không có cách nhiệt, 75% sử dụng một lớp kính, 41% có tỷ lệ kính trên tường – WWR – lớn hơn 0.25, 37% có điều hòa nhiệt độ sử dụng hệ thống điều hòa không khí trung tâm và 25% có các loại quạt và máy bơm với tốc độ khác nhau” [VNEEP, 2017].



Hình 3. Chức năng cần có của lớp vỏ bao che công trình.



Hình 4. Thực tế chức năng kiểm soát của lớp vỏ bao che hiện nay.

Có thể thấy rằng càng ngày lớp vỏ bao che càng bị bỏ qua các chức năng cần thiết. Kết quả là công trình rất dễ bị “tôn thương” bởi những tác động của khí hậu bên ngoài và cần thiết phải sử dụng những giải pháp “chữa cháy” như sử dụng quạt, điều hòa để làm mát, che rèm + sử dụng ánh sáng điện vì độ chói bên ngoài chiếu vào quá cao, ... vừa tốn kém vừa thiếu hiệu quả; nếu không sử dụng những giải pháp trên thì công trình hầu như không thể sử dụng được. Và hậu quả nhãn tiền là con người đang phải trả giá về sử dụng năng lượng và hiệu quả kinh tế và phần nào đó là sức khỏe, tâm sinh lý của người sử dụng.

Một đặc điểm nữa là hình thức vỏ bao che của các tòa nhà văn phòng ở Việt Nam hiện nay khá tương đồng, đó là sử dụng rất nhiều kính cho lớp vỏ (nhiều công trình diện tích kính chiếm 100% diện tích lớp vỏ), cùng với đó là không có giải pháp thụ động giảm tác động của nhiệt BXMT lên kính. Chính điều này dẫn đến việc bắt buộc phải sử dụng các giải pháp chủ động (điều hòa, thông gió cơ khí) vừa tốn kém rất nhiều năng lượng vừa không đảm bảo tính bền vững.



Hình 5. Những ví dụ tiêu biểu cho các công trình cao tầng hiện đại ở Việt Nam sử dụng kính với tỷ lệ rất lớn trên mặt đứng (Lotte Hà Nội, VP Bank Hà Nội, TTHC Đà Nẵng và Bitexco TP. HCM).

Kết quả khảo sát thí điểm các công trình văn phòng cao tầng tại TP. Đà Nẵng rút ra các nhận xét như sau:

(1) Về hướng công trình: Toàn bộ công trình đều quay ra các trục đường chính, chưa quan tâm đến việc lựa chọn hướng nhà tốt;

(2) Về hình dạng khối: Tỷ lệ công trình có hình hộp chữ nhật chiếm đa số công trình khảo sát (83%), các công trình hình dạng khác chỉ chiếm một tỷ lệ rất nhỏ.

(3) Về tổ chức thông gió tự nhiên: Hầu hết văn phòng cao tầng đều không tổ chức thông gió tự nhiên mà dùng ĐHKK hoàn toàn.

(5) Về giải pháp che nắng: Trong số công trình khảo sát chỉ có 01/23 công trình (tòa nhà Phi Long Plaza) là có giải pháp che nắng cho lớp vỏ bao che.

(6) Về tỷ lệ kính/tường: Tỷ lệ này là rất lớn đối với các công trình khảo sát, thậm chí nhiều công trình còn sử dụng 100% kính cho lớp tường bao che.

(7) Về sử dụng vật liệu cho lớp vỏ: Hầu như toàn bộ các công trình không có lớp vật liệu cách nhiệt cho lớp vỏ.

(8) Về sử dụng năng lượng sạch (năng lượng áp mái): Không có công trình nào sử dụng năng lượng áp mái.

Trong khi đó về điều kiện khí hậu của các địa phương ở Việt Nam là rất tốt, đạt thời gian tiện nghi khá cao quanh năm để có thể tận dụng đưa vào bên trong công trình. Cụ thể:

- Theo kết quả phân tích BĐSKHXDVN của PGS.TS. Phạm Đức Nguyên cho thấy hầu hết các địa phương ở nước ta đều có mức tiện nghi cao, đặc biệt là miền khí hậu phía Nam thời tiết tiện nghi xuất hiện trên 80% số giờ / năm, thậm chí tại Nha Trang tới 99% số giờ / năm [Phạm Đức Nguyên, 2016].

- Theo kết quả phân tích sinh khí hậu Đà Nẵng theo mô hình sinh khí hậu của PGS.TS. Nguyễn Anh Tuấn áp dụng cho một số địa phương, vùng tiện nghi của khí hậu của các địa phương như Đà Nẵng, Quy Nhơn và Nha Trang cũng chiếm tỷ lệ cao, ngoài ra nếu tổ chức thông gió tự nhiên sẽ tăng mức độ tiện nghi rất lớn.

- Còn theo kết quả phân tích sinh khí hậu của phần mềm Climate Consultant (phiên bản 6.0) áp dụng theo mô hình tiện nghi thích ứng theo tiêu chuẩn của ASHRAE (Adaptive Comfort Model in ASHRAE Standard) thì thời gian tiện nghi trong năm của các đô thị là khá cao, cụ thể là Đà Nẵng (55%), Quy Nhơn (62%) và Nha Trang (67%)

-Do đó, giải pháp thiết kế ưu tiên hàng đầu ở nước ta là công trình cần tận dụng tối đa điều kiện tiện nghi nhiệt ở bên ngoài, được đón gió tươi mát từ bên ngoài thổi vào để cải thiện điều kiện tiện nghi và giảm năng lượng sử dụng cho điều

hoà để làm mát cho công trình. Cùng với đó là hạn chế tối đa các tác động bất lợi của khí hậu lên lớp vỏ bao che.

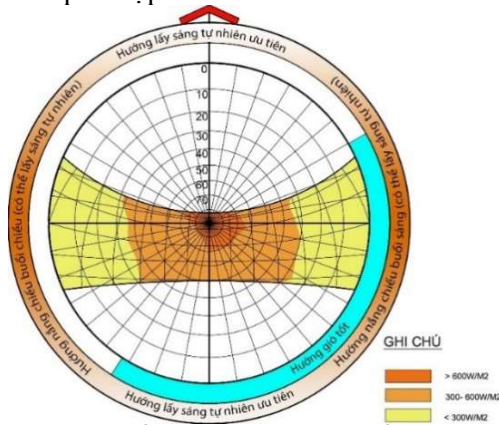
3. Giải pháp thiết kế lớp vỏ bao che nhằm nâng cao hiệu quả năng lượng

Trong quá trình nghiên cứu HQNL thông qua lớp vỏ bao che, tác giả nhận thấy có 3 yếu tố ảnh hưởng trực tiếp và rõ nét đến hiệu quả năng lượng công trình là: thông gió tự nhiên – chiếu sáng tự nhiên – điều hòa không khí. Các yếu tố này ngoài việc đồng thời tác động lên điều kiện tiện nghi bên trong, thì bản thân còn có sự cộng hưởng (tỉ lệ thuận) hoặc loại trừ (tỉ lệ nghịch) với nhau. Ví dụ: khi mở cửa để lấy sáng tự nhiên càng nhiều thì lượng nhiệt truyền vào càng nhiều, hay khi che nắng bằng kết cấu đặc thì sẽ giảm lượng ánh sáng tự nhiên đi vào bên trong công trình, ...

Do vậy tác đề xuất giải pháp thiết kế lớp vỏ bao che nhằm nâng cao hiệu quả năng lượng cho công trình văn phòng cao tầng dưới tác động và chi phối đồng thời của ba yếu tố: THÔNG GIÓ TỰ NHIÊN – CHIẾU SÁNG TỰ NHIÊN – ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ. Đồng thời, sử dụng kết hợp nhiều giải pháp cùng lúc để giảm tiêu thụ năng lượng và nâng cao chất lượng môi trường bên trong công trình. Cụ thể:

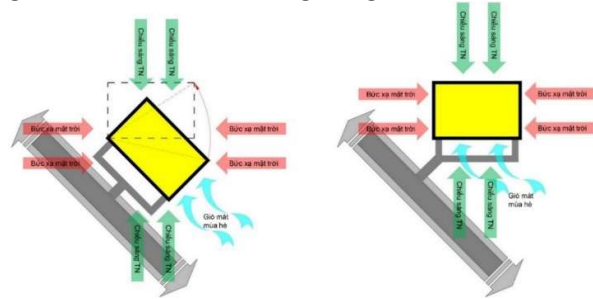
3.1. Quy hoạch không gian công trình

Tổng mặt bằng công trình liên quan đến hướng xây dựng công trình và tác động của các yếu tố môi trường xung tác động lên công trình đó, đặc biệt là bức xạ mặt trời, việc lựa chọn hướng tốt sẽ tận dụng được nhiều yếu tố có lợi, hạn chế tối đa tác động bất lợi từ bên ngoài. Hướng công trình sẽ ảnh hưởng đến hướng lấy sáng tự nhiên, hướng nắng, hướng gió và giải pháp xử lý lớp vỏ bao che phù hợp.



Hình 6. Hướng nắng, hướng gió, hướng lấy sáng tự nhiên và hướng năng lượng ở Đà Nẵng.

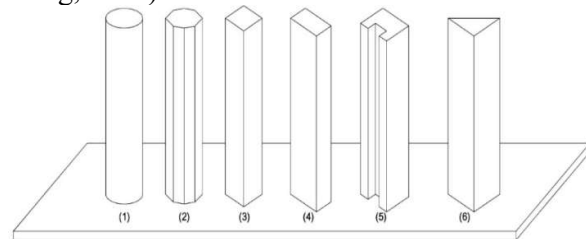
Đối với công trình văn phòng cao tầng ở nước ta hiện nay, việc lựa chọn hướng nâng cao về năng lượng sẽ không khó khăn như các loại công trình khác vì thời gian hoạt động chỉ là ban ngày. Do vậy khi quy hoạch kiến trúc sư có thể xoay cả khối nhà đi một góc để đạt sự nâng cao về hướng năng lượng. Các không gian phát sinh do việc xoay cả khối nhà hoàn toàn có thể được xử lý một cách khéo léo qua một số thủ pháp bố cục không gian và thiết kế mặt đứng công trình.



Hình 7. Điều chỉnh hướng công trình để đạt hiệu quả năng lượng cao hơn.

3.2. Lựa chọn hình khối công trình

Đối với công trình cao tầng, diện tích bề mặt tường xung quanh lớn hơn nhiều so với bề mặt mái, không giống như công trình ít tầng và nhiều tầng. Chỉ số năng lượng truyền qua kết cấu bao che xung quanh công trình sẽ phụ thuộc chủ yếu vào tỷ lệ giữa tổng diện tích mặt tường xung quanh và diện tích sử dụng của nhà. Hình 13 là các kiểu hình khối nhà cao tầng có tính ưu việt thứ tự từ cao (khối nhà số 1) đến thấp (khối nhà số 6) xét theo chỉ số năng lượng truyền qua kết cấu bao che xung quanh công trình (Phạm Ngọc Đăng, 2014).



Hình 8. So sánh chỉ số tiêu hao năng lượng giữa các loại hình khối nhà cao tầng [Phạm Ngọc Đăng và các cộng sự, 2014].

3.3. Tổ chức không gian mặt bằng

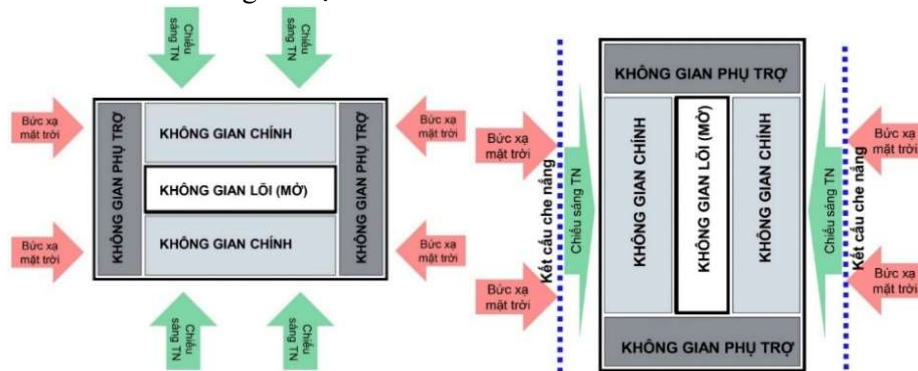
Việc tổ chức mặt bằng đóng vai trò quan trọng trong việc tận dụng các yếu tố tự nhiên có lợi như ánh sáng tự nhiên, thông gió tự nhiên; đồng thời hạn chế tác động bất lợi từ bên ngoài như ánh nắng, gió nóng/lạnh. Mặt bằng văn phòng cao tầng cần được tổ chức theo các nguyên tắc sau:

- Phân chia không gian thành các không gian chính (không gian làm việc, không gian sử dụng

thường xuyên) và các không gian phụ (hành lang, sảnh, kho, WC, ...).

- Ưu tiên bố trí các không gian chính ở hướng tốt để tận dụng tối đa các yếu tố có lợi, các không gian phụ ưu tiên bố trí ở các hướng bất lợi.

Bên cạnh đó, có thể kết hợp tổ chức giếng trời để tăng cường chiếu sáng tự nhiên cho không gian làm việc.

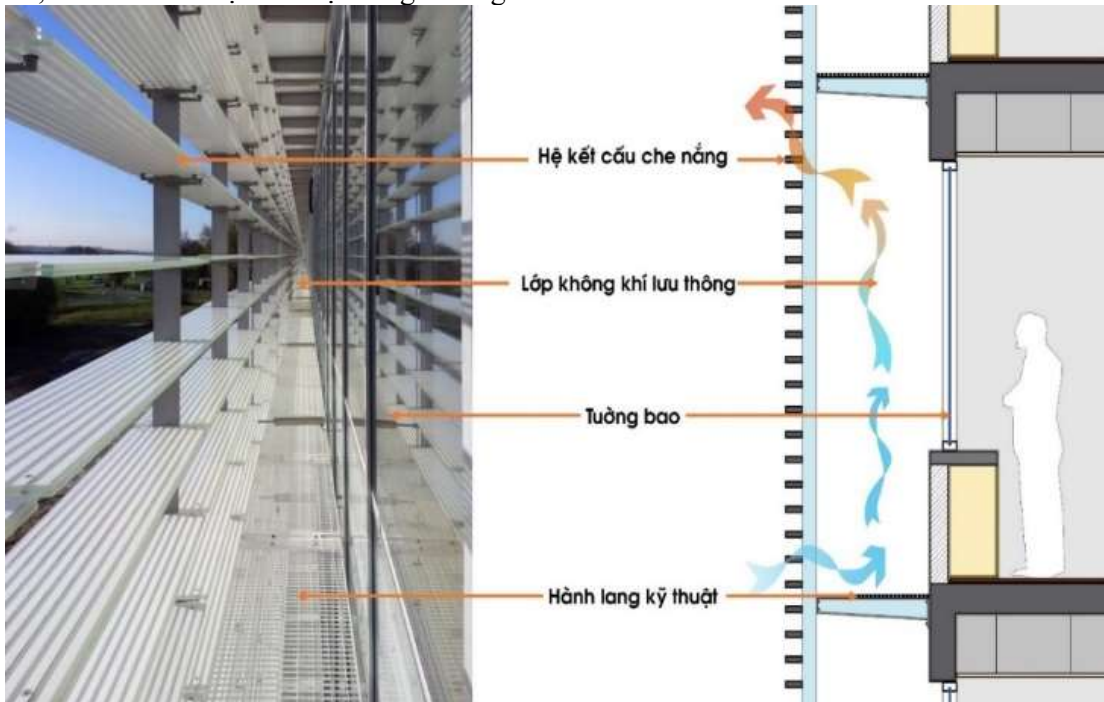


Hình 9. Hướng công trình tốt so với hướng nắng và bất lợi so với hướng nắng

3.4. Sử dụng lớp vỏ bao che nhiều lớp

Lớp vỏ của công trình, trong điều kiện khí hậu nóng ẩm của Việt Nam, nên được thiết kế linh hoạt, mở tối đa có thể để đón ánh sáng và gió mát nhưng cũng có thể thay đổi độ mở này tùy theo thực tế, và khi rất bất lợi – ví dụ như gió nóng về

mùa hè cộng thêm hiệu ứng đảo nhiệt đô thị – cần được khép kín lại để ngăn hơi nóng xâm nhập vào nhà. Xử lý cách nhiệt rất đơn giản: Dùng lớp không khí tự nhiên giữa kết cấu che nắng và hệ tường bao bên trong mà không cần phải dùng thêm bất kỳ vật liệu nào khác.

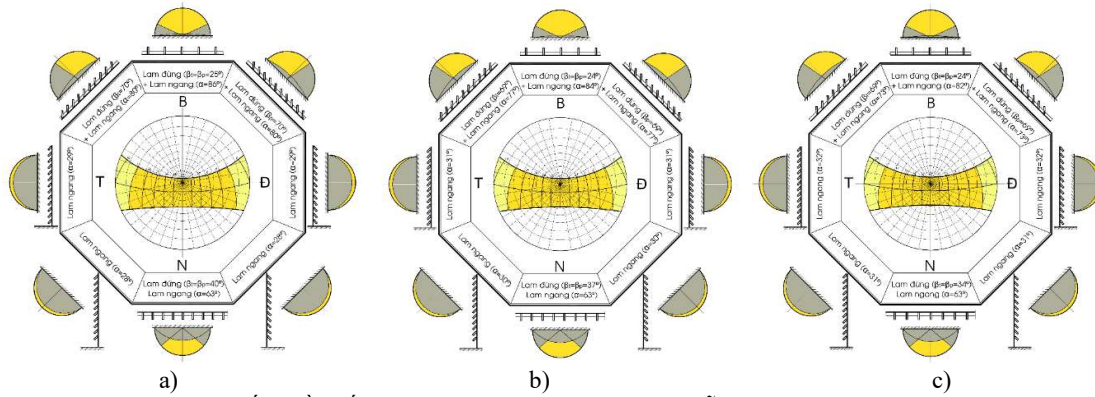


Hình 10. Giải pháp thiết kế vỏ bao che hiệu quả năng lượng [SAMYN and Partners, 2020]

3.5. Che nắng cho các hướng khác nhau của công trình

Kết cấu che nắng bên ngoài tòa nhà có vai trò quan trọng, giúp giảm thiểu lượng nhiệt bức xạ mặt trời truyền vào trong nhà thông qua cửa sổ kính, đặc biệt là đối với những quốc gia có khí hậu nhiệt đới nằm ở vị trí địa lý có vĩ độ thấp, gần

xích đạo như Việt Nam. Che nắng đồng nghĩa với việc giảm đáng kể lượng nhiệt bức xạ hun nóng công trình và giảm yêu cầu tải lạnh đối với máy ĐHKK, tránh những bất tiện, bất lợi khi bị nắng chiếu và cũng là giảm độ chói gắt của ánh sáng mặt trời trong không gian ở [Im G. and Partners, 2012].



Hình 11. Giải pháp che nắng đề xuất cho các hướng khác nhau ở Đà Nẵng (a), Quy Nhơn (b) và Nha Trang (c).

3.6. Lựa chọn vật liệu sử dụng cho lớp vỏ công trình

Các vật liệu được sử dụng trong công trình nói chung cần phải thân thiện với môi trường, không chứa các chất gây hại đến sức khỏe người sử dụng, có năng lượng hàm chứa thấp, dễ tái chế và tái sử dụng, được lập thành danh mục (catalogue) với các đặc tính và thông số kỹ thuật đi kèm để chủ đầu tư và kiến trúc sư lựa chọn theo sự tư vấn

của các kỹ sư vật liệu xây dựng. Đối với lớp vỏ công trình, vật liệu được chọn ít hấp thụ nhiệt và có màu sáng. Những công trình hiệu quả năng lượng được xây dựng theo mô hình kiến trúc xanh công nghệ thấp thường sử dụng đất sét, tre, gỗ, rơm, lá cây, ... là những vật liệu thiên nhiên – sinh thái có sẵn, không gây ô nhiễm môi trường và không tốn năng lượng vận chuyển.



Hình 12. Một số dạng kết cấu che nắng cho tòa nhà văn phòng cao tầng ở Malaysia.

3.7. Sử dụng năng lượng sạch nhằm bổ sung năng lượng tiêu thụ cho việc làm mát công trình



Hình 13. Ví dụ tiêu biểu về việc sử dụng năng lượng mặt trời áp mái cho văn phòng (Bullitt Center – Mỹ) [ArchDaily, 2022].

Đối với quốc gia có tiềm năng về bức xạ mặt trời và số giờ nắng lớn như Việt Nam, việc khai thác và tận dụng năng lượng từ bức xạ mặt trời là cần thiết. Đối với văn phòng cao tầng, điện tạo ra từ bức xạ mặt trời (pin quang điện) cần được ưu tiên khai thác để bổ sung thêm nguồn năng lượng tại chỗ cho công trình.

4. Kết luận

Vỏ bao che là thành phần tác động quyết định đến hiệu quả năng lượng của công trình, cùng lúc đảm nhiệm nhiều chức năng; đối với văn phòng cao tầng, lớp vỏ bao che càng cần được quan tâm đúng mức. Do vậy, cần sử dụng nhiều giải pháp thiết kế cùng lúc cho lớp vỏ để đáp ứng đầy đủ các yêu cầu về chức năng cần có của thành phần này trong công trình. Có như vậy công trình mới có thể đạt được hiệu quả năng lượng cao nhất trong quá trình sử dụng.

Tài liệu tham khảo

1. ArchDaily. The 'World's Greenest Commercial' Building Opens in Seattle Today. n.d. 21 10 2022. <<https://www.archdaily.com/>>.
2. Climate.OneBuilding.Org. *Climate Files - listed in WMO Regions*. n.d. Climate.OneBuilding.Org. 20 05 2023. <<https://climate.onebuilding.org/>>.
3. Im G. and Partners. "Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings." *Energy and Buildings* (2012).
4. Lê Lương Vàng. "Vai trò của lớp vỏ công trình trong Công trình xanh." *Hội thảo trực tuyến*. Hà Nội, 2021.
5. Nguyễn Quang Minh. "Kiến trúc hiệu quả năng lượng (Kỳ 3, phần 1): Cơ sở quy hoạch và kiến trúc." *Tạp chí Kiến trúc*, (2017): số 03-2017.
6. Phạm Đức Nguyên. "Thiết kế nâng cao chất lượng môi trường và hiệu quả năng lượng trong các tòa nhà văn phòng ven biển Việt Nam." *Tạp chí Kiến trúc* (2016): số 08-2016.
7. Hoàng Mạnh Nguyên. "Vai trò của nhà cao tầng trong phát triển đô thị bền vững tại Việt Nam." *Tạp chí Kiến trúc* (2016): Số 03-2016.
8. Nguyễn Anh Tuấn. *Phương pháp phân tích sinh khí hậu cho các vùng nhiệt đới ẩm*. 8 12 2016. nguyenanhtuandn.wordpress.com. 25 09 2023. <<https://nguyenanhtuandn.wordpress.com/>>.
9. Phạm Đức Nguyên. *Kiến trúc sinh khí hậu. thiết kế sinh khí hậu trong kiến trúc Việt Nam*. Hà Nội : Nhà Xuất bản Xây dựng, 2008.
10. Phạm Ngọc Đăng và các cộng sự. *Các giải pháp thiết kế công trình xanh tại Việt Nam*. Hà Nội: Nhà Xuất bản Xây dựng, 2014.
11. Phạm Ngọc Đăng, Nguyễn Việt Anh. *Các giải pháp thiết kế công trình xanh ở Việt Nam*. Hà Nội: NXB Xây dựng, 2014.
12. SAMYN and Partners. *Head Office of AGC Glass Europe*. n.d. Archdaily. 15 09 2020. <<https://www.archdaily.com/>>.
13. VNEEP. *Áp dụng quy chuẩn tiết kiệm năng lượng sẽ tiết kiệm được 30%*. 10 05 2017. VNEEP. 10 05 2018. <<http://tietkiemnangluong.com.vn.>>.

Ứng dụng của trí tuệ nhân tạo trong thiết kế nội thất nhà thông minh

Applications of Artificial Intelligence in Smart Home interior design.

Phan Hạnh Liên

Khoa Kiến trúc, Trường Công nghệ và Kỹ thuật

Email: hanhlien.phan2501@gmail.com.

Tóm tắt: Trong thời đại công nghệ thông tin bùng nổ, trí tuệ nhân tạo (AI) không chỉ là một khái niệm xa vời mà đã trở thành một phần không thể thiếu trong cuộc sống hàng ngày của chúng ta. Đặc biệt trong lĩnh vực thiết kế nội thất nói chung và thiết kế nhà ở thông minh (Smart Home) nói riêng, AI đã mở ra một chân trời mới với khả năng tối ưu hóa hiệu quả sử dụng không gian, đồng thời mang lại sự tiện nghi, an toàn và bền vững. Báo cáo này tập trung vào việc phân tích sự kết hợp giữa AI và thiết kế nội thất Smart Home, khám phá ứng dụng của AI trong việc giải quyết các vấn đề lưu trữ đồ đạc cho cả người lớn và trẻ em. Các giải pháp được đề xuất bao gồm hệ thống lưu trữ thông minh điều khiển qua ứng dụng di động, cũng như việc áp dụng các phương pháp nhận diện hình ảnh và xử lý dữ liệu lớn để cá nhân hóa trải nghiệm người dùng. Đồng thời, nghiên cứu cũng nhấn mạnh tầm quan trọng của việc phát triển các giải pháp tương thích và tiêu chuẩn chung giữa các thương hiệu và hệ thống khác nhau. Báo cáo dự báo về tương lai của AI trong lĩnh vực thiết kế nội thất, với hy vọng mở rộng ứng dụng của công nghệ này trong các khía cạnh khác của đời sống.

Từ khóa: trí tuệ nhân tạo; thiết kế nội thất nhà ở thông minh; thiết kế hệ thống lưu trữ đồ đạc

Abstract: In the era of booming information technology, Artificial Intelligence (AI) is no longer a distant concept but has become an integral part of our daily lives. Particularly in the field of interior design in general and Smart Home design in particular, AI has opened up new horizons with its ability to optimize space utilization, while also providing convenience, safety, and sustainability. This report focuses on analyzing the integration of AI with Smart Home interior design, exploring AI's application in addressing storage issues for both adults and children. Proposed solutions include smart storage systems controlled via mobile apps, as well as the use of image recognition methods and big data processing to personalize user experience. Additionally, the study highlights the importance of developing compatible solutions and common standards among different brands and systems. The report concludes with a forecast about the future of AI in the field of interior design, with the hope of expanding the application of this technology to other aspects of life.

Keywords: AI; Smart Home interior design; storage systems design

1. Giới thiệu

1.1. Bối cảnh bùng nổ AI

AI đang trở thành một trong những công nghệ chủ chốt của cuộc cách mạng công nghiệp 4.0, mang lại ảnh hưởng sâu rộng đến hầu hết các ngành nghề và lĩnh vực trên toàn cầu. Với sự phát triển nhanh chóng của AI, các quốc gia đã đưa ra các chiến lược và chính sách khác nhau nhằm khai thác tiềm năng của công nghệ này. Mỗi quốc gia như Mỹ, Trung Quốc, Liên minh châu Âu, Nhật Bản và Ấn Độ đều có cách tiếp cận riêng biệt phản ánh mục tiêu phát triển phù hợp với bối cảnh kinh tế xã hội của họ. Cụ thể, Mỹ và Trung Quốc tập trung vào cạnh tranh dẫn đầu trong nghiên cứu và ứng dụng AI, còn Liên minh châu Âu và Canada chú trọng khía cạnh đạo đức và quyền riêng tư. Trong khi Nhật Bản tích hợp AI vào mọi lĩnh vực cuộc sống qua dự án "Xã hội 5.0", thì Ấn Độ dùng AI để phát triển kinh tế thị trường cạnh tranh [1]. Điều này cho thấy sự phát triển mạnh mẽ của AI không chỉ đơn thuần là một xu hướng công nghệ mà còn là yếu tố quyết định trong việc định hình tương lai về kinh tế và xã hội của các quốc gia.

1.2. Tình hình thiết kế Smart Home và kết hợp AI trong Smart Home

Song song với sự phát triển của AI, thị trường nhà thông minh (Smart Home) cũng đang ở trên đà bùng nổ. Theo báo cáo của Statista [2], giá trị thị trường Smart Home tại Việt Nam năm 2023 đạt 275 triệu USD và dự kiến sẽ vượt 500 triệu USD vào năm 2028, với tốc độ tăng trưởng trung bình 12,3% mỗi năm. Hiện nay, các giải pháp Smart Home chủ yếu tập trung vào việc tiết kiệm năng lượng thông qua tự động điều chỉnh hệ thống chiếu sáng, nhiệt độ và các thiết bị giám sát tiêu thụ điện năng. Tuy nhiên, các chuyên gia nhấn mạnh rằng yếu tố quyết định không chỉ nằm ở việc sở hữu các thiết bị thông minh mà còn là khả năng tích hợp chúng vào tổng thể ngôi nhà để nâng cao chất lượng cuộc sống. Kiến trúc sư Nguyễn Đỗ Dũng cho rằng Smart Home ở Việt Nam hiện vẫn chủ yếu tập trung vào thiết bị, chưa vượt qua được giới hạn để cải thiện chất lượng sống, và "*cần tiên phong mở rộng tầm nhìn, không chỉ dừng lại ở thiết bị điện mà còn chú trọng đến vật liệu và các phương pháp khác để cải thiện môi trường sống*" [3].

Trước bối cảnh đó, sự kết hợp giữa AI và Smart Home có thể tạo ra một cuộc cách mạng lớn, biến các ngôi nhà từ “không gian thụ động” thành “môi trường chủ động”, đồng thời có khả năng tự động thích nghi với nhu cầu và thói quen của con người.

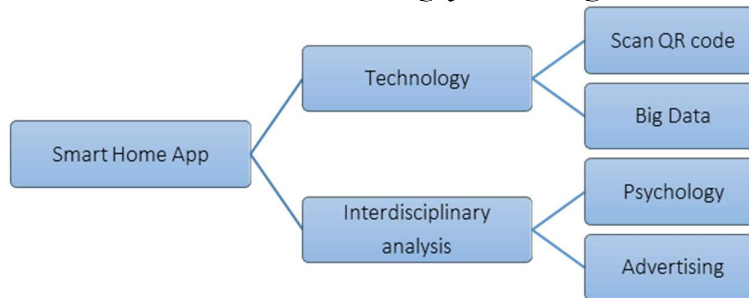
Báo cáo này sẽ tập trung vào việc nghiên cứu phân tích ứng dụng của AI trong việc giải quyết các vấn đề lưu trữ đồ đạc gia đình, không chỉ thúc đẩy tăng cường tiện nghi mà còn cải thiện độ an toàn, tính di động và đóng góp vào công việc tạo ra một môi trường nội thất bền vững.

2. Nền tảng phát triển hệ thống lưu trữ AI Smart Home

2.1. Nhu cầu sử dụng ứng dụng AI Smart Home

Trong kỷ nguyên hệ thống thông tin toàn cầu, điện thoại di động đã trở thành một phần không thể thiếu trong cuộc sống hàng ngày của mọi người, và việc sử dụng các ứng dụng di động (mobile application, viết tắt App) để kết nối và điều khiển các thiết bị thông minh ngày càng phổ

biến. Theo Zixuan Chen [4], các ứng dụng di động không chỉ là một nền tảng quan trọng mà còn đóng vai trò là cầu nối giữa người dùng và hệ thống Smart Home. Việc tích hợp các ứng dụng này giúp tối ưu hóa khả năng tương tác, điều khiển và lưu trữ thông tin. Chen cũng đề xuất sơ đồ tư duy về công nghệ “ứng dụng nhà thông minh” (Smart Home App) (hình 1), thể hiện các khía cạnh phân tích của việc kết nối các thiết bị qua nền tảng di động. Trong nền tảng này, các hệ thống lưu trữ AI Smart Home đang phát triển mạnh mẽ, kết hợp những tiến bộ về mã QR (QR code), dữ liệu lớn (Big Data) và AI. Những công nghệ này không chỉ giúp quản lý dữ liệu hiệu quả mà còn nâng cao trải nghiệm người dùng thông qua khả năng cá nhân hóa và dự đoán nhu cầu sử dụng. Sự liên kết giữa công nghệ và những nghiên cứu liên ngành (Interdisciplinary analysis), như tâm lý học và quảng cáo, cũng mở ra những cơ hội mới cho các hệ thống lưu trữ AI trong việc đáp ứng và cải thiện cuộc sống hàng ngày của con người.



Hình 1. Sơ đồ tư duy về công nghệ Smart Home App (Nguồn: Zixuan Chen [4])

2.2. Phát triển công nghệ đối với khía cạnh lưu trữ đồ đạc thông minh

QR code có thể được sử dụng như một công cụ hữu hiệu trong việc quản lý và theo dõi đồ đạc trong hệ thống lưu trữ AI Smart Home. Mỗi món đồ trong không gian nhà có thể được gán một mã QR, giúp người dùng dễ dàng xác định vị trí và truy cập thông tin về món đồ đó. Khi cần tìm kiếm hoặc quản lý, chỉ cần quét mã QR, hệ thống sẽ cung cấp thông tin chi tiết về đồ đạc như vị trí, tần suất sử dụng và tình trạng hiện tại. Điều này không chỉ giúp tối ưu hóa không gian lưu trữ mà còn giảm thời gian tìm kiếm, tăng hiệu quả quản lý trong môi trường nhà thông minh.

Thông qua các Big Data - là công cụ dùng để thu thập, lưu trữ, xử lý và phân tích khối lượng lớn dữ liệu có tính đa dạng và phức tạp, các AI Smart Home có thể thu thập lượng dữ liệu lớn từ các thói quen sử dụng của người dùng. Từ đó, Big Data có thể phân tích các hành vi này để dự đoán

và tự động sắp xếp đồ đạc theo tần suất sử dụng, kích thước, và mức độ quan trọng. Ví dụ, hệ thống có thể nhận biết các vật dụng thường xuyên được sử dụng và đề xuất hoặc tự động điều chỉnh vị trí của chúng ở những nơi dễ tiếp cận. Ngược lại, các món đồ ít sử dụng sẽ được cất giữ ở các vị trí xa hơn. Điều này không chỉ giúp tối ưu không gian mà còn giảm thiểu lãng phí thời gian. Ngoài ra, có thể xây dựng mô hình về ý định mua hàng của người sử dụng và tập trung vào phân tích sở thích thương hiệu, nhu cầu sản phẩm, quan niệm mua hàng, khả năng tiêu dùng, v.v.

2.3. Nhu cầu về các phân tích liên ngành trong hệ thống thiết kế lưu trữ

Đối với khía cạnh tâm lý học, việc hiểu và nắm bắt tâm lý của người dùng có thể giúp cải thiện trải nghiệm trong hệ thống lưu trữ đồ đạc thông minh. Người dùng thường cảm thấy thoải mái khi không gian sống được tổ chức gọn gàng và tiện dụng. Tâm lý học có thể giúp hệ thống AI hiểu rõ

các nhu cầu và thói quen của con người, từ đó điều chỉnh các cách lưu trữ phù hợp với từng cá nhân hoặc gia đình. Các nghiên cứu tâm lý cũng cho thấy rằng người dùng thích sự đơn giản, do đó, các tính năng truy cập và sắp xếp đồ đạc trong hệ thống AI Smart Home cần dễ sử dụng và không phức tạp. Ngoài ra, việc hiểu được các yếu tố như thói quen, cảm giác an toàn, và sự thoải mái có thể giúp nhà sản xuất thiết kế các hệ thống lưu trữ (tủ, kệ) sao cho tương thích với nhu cầu tâm lý của người dùng.

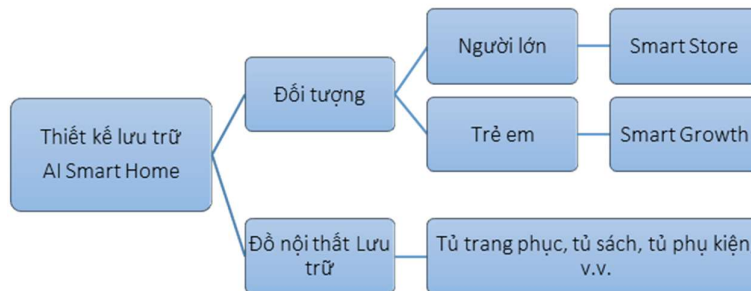
Đối với yếu tố quảng cáo tiếp thị, hệ thống lưu trữ thông minh có khả năng thu thập và phân tích dữ liệu về đồ đạc của người dùng, từ đó mở ra cơ hội cho việc cá nhân hóa quảng cáo. Ví dụ, nếu hệ thống lưu trữ nhận thấy người dùng thường xuyên cất giữ hoặc sử dụng một loại sản phẩm nhất định, nó có thể gợi ý quảng cáo hoặc đề xuất sản phẩm liên quan. Hơn nữa, các dữ liệu về lưu trữ có thể giúp các công ty hiểu rõ hơn về nhu cầu tiêu dùng và hành vi mua sắm của người dùng, từ đó điều chỉnh chiến lược quảng cáo phù hợp. Quảng cáo có thể được tích hợp trong hệ thống qua các thông báo hoặc đề xuất khi người dùng tương tác với hệ thống lưu trữ của họ, giúp tăng cường hiệu quả tiếp thị và đem lại giá trị cho cả người tiêu dùng và nhà sản xuất.

3. Đề xuất thiết kế hệ thống lưu trữ AI Smart Home

3.1. Yêu cầu chung trong thiết kế lưu trữ

Lưu trữ là một vấn đề quan trọng đối với các nhà thiết kế nội thất cũng như người dùng trong cuộc sống hàng ngày. Hệ thống lưu trữ trong nhà có vai trò quan trọng trong việc tối ưu hóa không gian và đảm bảo sự tiện nghi. Một hệ thống lưu trữ hiệu quả phải đảm bảo tính linh hoạt, dễ dàng tiếp cận và sắp xếp hợp lý các vật dụng gia đình. Các phân tích thiết kế cũng cần dựa trên khả năng tải của các cấu trúc lưu trữ, vật liệu, mức độ tương thích với thói quen sử dụng, ngoài ra còn liên quan đến tuổi thọ và khả năng thay thế, sửa chữa trong quá trình sử dụng, đảm bảo tính bền vững và thời hạn kinh tế cho người dùng.

Trong khuôn khổ báo cáo này, các đề xuất giải pháp thiết kế được dựa trên tính chất lưu trữ cụ thể đối với 2 loại đối tượng: người lớn và trẻ em. Các đề xuất này cũng được kết hợp với nền tảng AI Smart Home, tập trung khai thác hành vi của con người, nội dung lưu trữ, phân vùng lưu trữ, từ đó hình thành các điểm nhấn khác nhau trong thiết kế dành cho mỗi đối tượng.



Hình 2. Hệ thống thiết kế nội thất lưu trữ trong AI Smart Home

3.2. Hệ thống tủ Smart-Store dành cho người lớn

Hệ thống tủ Smart-Store là một ý tưởng tiên tiến với việc sử dụng công nghệ AI Smart Home để biến chiếc tủ quần áo thông thường thành một “cửa hàng cá nhân” ngay tại nhà. Thay vì chỉ đơn giản là nơi lưu trữ đồ đạc, tủ Smart-Store trở thành một trợ lý cá nhân trong việc quản lý trang phục, phụ kiện và các vật dụng khác của người dùng. Hệ thống AI tích hợp thông qua ứng dụng di động và giúp người dùng quản lý, tìm kiếm và gợi ý trang phục dựa trên thói quen sử dụng. Công nghệ QR code và Big Data sẽ theo dõi và quản lý hiệu quả các vật phẩm trong tủ, đồng thời cung cấp cảnh báo khi cần bảo trì. Hệ thống cũng dựa trên thói quen người dùng để tối ưu hóa

không gian lưu trữ và cá nhân hóa các gợi ý mua sắm từ hệ thống dựa trên dữ liệu thời trang, xu hướng và sở thích cá nhân. Hình 3 là sơ đồ quy trình sử dụng đối với một mô hình lưu trữ Smart-Store.

Vật liệu sử dụng thích hợp với mô hình tủ Smart-Store nên bao gồm cửa kính trong suốt cho phép quan sát đồ đạc dễ dàng, kết hợp với khung thép hoặc nhôm cao cấp để đảm bảo độ bền. Các ngăn kéo và kệ bên trong nên được làm từ gỗ công nghiệp hoặc composite, có khả năng điều chỉnh linh hoạt tùy thuộc vào nhu cầu lưu trữ. Tác giả cũng khuyến nghị nên sử dụng các kiểu thiết kế module giúp dễ dàng bảo trì và nâng cấp từng phần tủ mà không cần thay thế toàn bộ hệ thống,

đảm bảo tính bền vững và tiện lợi. Ngoài ra, vấn đề bảo mật được đảm bảo bằng công nghệ vân tay hoặc nhận diện khuôn mặt, giúp bảo vệ các

khung vực lưu trữ riêng tư, cảnh báo an ninh sẽ được kích hoạt khi phát hiện mở tủ bất thường



Hình 3. Quy trình xây dựng mô hình Smart-Store



Hình 4. Các dạng thiết kế tủ lưu trữ phù hợp với mô hình Smart-Store

3.3. Hệ thống tủ Smart-Growth dành cho trẻ em

Ngoài khả năng phân loại và đề xuất vật phẩm như mô hình Smart-Store đã đề cập ở phần trên, Smart-Growth được phát triển dựa trên hai khía cạnh sự "sạch sẽ" và "bền vững" dành cho trẻ em. Với trẻ nhỏ thường có hành vi ngậm đồ chơi hay tiếp xúc trực tiếp với nhiều vật dụng, yêu cầu về vật liệu thiết kế tủ phải có khả năng làm sạch và

khử khuẩn mạnh. Thiết kế tủ SmartGrowth có thể sử dụng vật liệu an toàn như nhựa không độc hại hoặc gỗ tự nhiên, bề mặt kháng khuẩn và dễ dàng vệ sinh, giúp cha mẹ nhanh chóng làm sạch tủ. Hơn nữa, hệ thống AI hỗ trợ phân loại đồ dùng theo từng danh mục (quần áo, đồ chơi, phụ kiện), giúp cha mẹ dễ dàng tổ chức không gian và theo dõi mức độ cần vệ sinh của từng món đồ của trẻ em (hình 5).



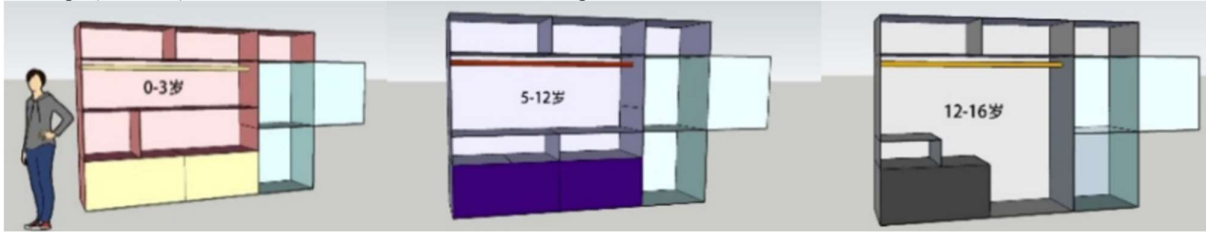
Hình 5. Quy trình xây dựng mô hình Smart-Growth

Tích hợp công nghệ AI, Smart-Growth theo dõi sự phát triển của trẻ và tự động đề xuất các thay đổi về ngăn chứa phù hợp với nhu cầu mới. Thiết

kế Smart-Growth cũng cần phải tính đến cấu trúc module linh hoạt, cho phép điều chỉnh kích thước và bố trí khi trẻ lớn lên mà không cần thay đổi

hay tháo dỡ toàn bộ, tối đa hóa tuổi thọ sử dụng của sản phẩm (hình 6). Các bảng ngăn trong tủ có thể tháo rời và kết hợp tùy chỉnh mà không cần đến các khớp nối phức tạp, giúp việc dọn dẹp và khử khuẩn toàn bộ tủ trở nên dễ dàng và nhanh chóng (hình 7).. Nhờ đó, Smart-Growth không

chỉ mang lại sự tiện lợi mà còn đảm bảo một không gian sạch sẽ, an toàn và bền vững, giúp cha mẹ quản lý tốt hơn việc lưu trữ và chăm sóc sức khỏe của con trẻ trong những ngôi nhà thông minh.



Hình 6. Các dạng thiết kế kệ tủ có thể điều chỉnh linh hoạt theo độ tuổi của trẻ em (Nguồn: Zixuan Chen [4])



Hình 7. Các dạng thiết kế module bàn ghế thay đổi cấu trúc linh hoạt (Nguồn: Dwyers Home [5])

4. Dự đoán xu hướng phát triển

Rõ ràng trong bối cảnh kỷ nguyên công nghệ số, hệ thống Smart Home sẽ không ngừng mở rộng, đặc biệt là trong lĩnh vực lưu trữ thông minh. Tuy nhiên, để những giải pháp này thực sự trở thành xu hướng phổ biến, cần phải vượt qua nhiều thách thức; cũng như đi kèm với các chính sách hỗ trợ và sự phát triển của công nghệ. Khi các hệ thống thông minh này tích hợp sâu hơn vào cuộc sống hàng ngày, khả năng thu thập và phân tích dữ liệu từ người dùng sẽ tăng cao, từ đó giúp các thương hiệu không chỉ nâng cao độ chính xác trong việc cá nhân hóa sản phẩm, mà còn mở ra cơ hội hợp tác kinh doanh lớn hơn. Về

phía người dùng, họ sẽ nhận được những gợi ý mua sắm tối ưu và tiết kiệm thời gian. Dưới vòng tuần hoàn có lợi giữa người tiêu dùng và các thương hiệu sản phẩm, hệ thống thiết kế nội thất tủ quần áo thông minh, tủ lắp ráp, bàn học tùy chỉnh thay đổi kích thước, v.v. cũng được kỳ vọng sẽ trở thành một thị trường có ảnh hưởng lớn, thúc đẩy chuỗi lợi ích giữa các doanh nghiệp và khách hàng. Tuy nhiên, để đạt được sự phổ biến rộng rãi, cần có những quy định rõ ràng về an toàn và bảo mật thông tin, nhằm bảo vệ quyền riêng tư của người dùng cũng như đảm bảo chất lượng dịch vụ trong suốt quá trình sử dụng.

5. Kết luận

Báo cáo này đề cao vai trò quan trọng của công nghệ AI trong lĩnh vực thiết kế nội thất, đặc biệt là trong việc cần thiết phát triển các giải pháp lưu trữ thông minh cho không gian sống hiện đại. Sự kết hợp giữa AI và thiết kế nội thất không chỉ nâng cao hiệu quả sử dụng không gian mà còn mang đến trải nghiệm sống tốt hơn cho người dùng. Với sự phát triển không ngừng của công nghệ, các hệ thống thiết kế Smart Home sẽ ngày càng trở nên tinh vi và thân thiện hơn, phù hợp với nhu cầu và thói quen của người tiêu dùng. Đồng thời, việc phát triển các tiêu chuẩn ngành và đảm bảo an toàn thông tin cũng là những yếu tố then chốt để thúc đẩy sự chấp nhận và ứng dụng rộng rãi của các sản phẩm Smart Home. Trong bối cảnh xã hội ngày càng phát triển, sự chuyển mình của thiết kế nội thất dưới ảnh hưởng của công nghệ không chỉ là xu hướng mà còn là điều kiện cần thiết để đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của con người. Với những tiềm năng và thách thức hiện tại, tương lai của ngành thiết kế nội thất sẽ là sự kết hợp hài hòa giữa công nghệ và tính nhân văn, tạo nên không gian sống không chỉ thông minh mà còn thân thiện và bền vững.

Tài liệu tham khảo:

1. IAPP (2024). Global AI Law and Policy Tracker. IAPP Research and Insights. USA: IAPP.
2. Vconnex Homepage (2024). *Thị trường nhà thông minh Việt Nam*. Truy cập ngày 01/10/2024 tại: <https://vconnex.vn/thi-truong-nha-thong-minh-viet-nam-va-the-gioi-2024-den-2028/>
3. Vneconomy Homepage (2024). Thị trường Smart Home Việt Nam tăng trưởng nóng nhưng chưa được chuẩn hóa. Truy cập ngày 01/10/2024 tại: <https://vneconomy.vn/techconnect/thi-truong-smarthome-viet-nam-tang-truong-nong-nhung-chua-duoc-chuan-hoa-va-xanh.htm/>
4. Zixuan, C. and Xiang, W. (2020). *Application of AI technology in interior design*. E3S Web of Conferences, 179 (02), 105.
5. Dwyers Home (2024). *Nordic Wooden Storage Module Kids*. Truy cập ngày 15/10/2024 tại: <https://www.dwyershome.ie/products/wooden-storage-module-nopik-kids>