

NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP TĂNG SỐ CHỖ ĐỖ XE CHO TẦNG HẦM CHUNG CƯ CŨ BẰNG HỆ THỐNG ĐỖ XE CƠ KHÍ 2 TẦNG THẤP (DƯỚI 3 M)

STUDY ON SOLUTIONS TO INCREASE PARKING SPACES IN EXISTING APARTMENT BASEMENTS USING A LOW-CLEARANCE TWO-LEVEL MECHANICAL PARKING SYSTEM (UNDER 3 M)

ThS. **Phạm Anh Tuấn**, TS. **Nguyễn Anh Ngọc***

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: nguyenanhngocmxd@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Sự gia tăng phương tiện cá nhân tại các đô thị lớn đã gây áp lực nghiêm trọng lên hạ tầng giao thông tĩnh, đặc biệt tại các tầng hầm chung cư cũ với chiều cao hạn chế (dưới 3 m). Bài báo đề xuất hệ thống đỗ xe cơ khí 2 tầng thấp, áp dụng cơ cấu nâng nghiêng, nhằm tăng số lượng chỗ đỗ xe trong các tầng hầm hiện hữu. Phương pháp nghiên cứu bao gồm khảo sát hiện trạng, lựa chọn xe mẫu, xây dựng mô hình kết cấu 3D, mô phỏng động học và tính toán kết cấu thép. Kết quả sơ bộ cho thấy giải pháp đề xuất có khả năng tăng số chỗ đỗ xe 50 - 70%, ứng suất lớn nhất 106.5 MPa và biến dạng lớn nhất 5.47 mm, đảm bảo độ cứng và tính ổn định trong phạm vi tải trọng khảo sát. Bài báo cũng thảo luận ưu nhược điểm, khả năng tối ưu hóa kết cấu và hướng phát triển tiếp theo. Nghiên cứu là cơ sở khoa học ban đầu cho việc phát triển sản phẩm nội địa hóa, giải quyết bài toán nhà đỗ xe thấp trong đô thị Việt Nam.

Từ khóa: Hệ thống đỗ xe cơ khí 2 tầng; Tầng hầm thấp; Tăng số chỗ đỗ xe; Mô hình kết cấu 3D; Phân tích kết cấu.

ABSTRACT

Rapid growth of personal vehicles in urban areas has caused significant pressure on parking infrastructure, particularly in low-clearance basements (under 3 m) of older apartment buildings. This paper proposes a low-clearance two-level mechanical parking system utilizing a tilting lifting mechanism to increase parking capacity in existing basements. The research methodology includes a field survey, selection of representative vehicles, 3D structural modeling, kinematic simulation, and structural analysis. Preliminary results indicate that the proposed system can increase parking spaces by 50 - 70%, with a maximum stress of 106.5 MPa and a maximum displacement of 5.47 mm, ensuring stiffness and stability under the evaluated loading conditions. The paper discusses advantages, limitations, potential structural optimization, and directions for further development. This study provides a foundational scientific basis for developing domestically produced low-clearance parking solutions in urban Vietnam.

Keywords: Two-level mechanical parking system; Low-clearance basement; Parking capacity enhancement; 3D structural modeling; Structural analysis.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự gia tăng nhanh chóng của phương tiện cá nhân tại các đô thị lớn đã tạo áp lực đáng kể lên hệ thống bãi đỗ xe hiện hữu. Theo Tran [1], tại Hà Nội, nhu cầu đỗ xe vượt xa khả năng cung cấp, đặc biệt tại các khu vực trung tâm, nơi mà hình thức đỗ xe trên lòng đường và vỉa hè vẫn chiếm tỷ lệ lớn, dẫn đến ùn tắc giao thông và làm giảm hiệu quả sử dụng hạ tầng. Trong bối cảnh này, các khu chung cư hiện hữu, đặc biệt là những công trình có chiều cao tầng hạn chế (dưới 3 m), gặp nhiều khó khăn khi bố trí bãi đỗ xe theo phương án truyền thống do giới hạn về không gian và chiều cao thông thủy. Đồng thời, nhu cầu đỗ xe của cư dân ngày càng gia tăng, đặt ra yêu cầu cấp thiết về các giải pháp linh hoạt, tiết kiệm diện tích và phù hợp với kết cấu hiện hữu. Trong bối cảnh đó, mô hình nhà đỗ xe 2 tầng thấp xuất hiện như một giải pháp khả thi nhằm tận dụng tối đa không gian hiện có mà không cần cải tạo lớn.

Các nghiên cứu trước đây đã cung cấp nền tảng cho hướng tiếp cận này. Vũ Anh Tuấn và cộng sự [2] đã đề xuất các nguyên tắc thiết kế công trình đỗ xe dựa trên các tiêu chí về công năng, an toàn và hiệu quả vận hành. Chen và Li [3] chỉ ra rằng các hệ thống đỗ xe cơ khí dạng xếp chồng 2-3 tầng có ưu điểm về chi phí thấp và phù hợp với các đô thị đang phát triển. Bên cạnh đó, Kim et al. [4] cho thấy các hệ thống đỗ xe nhỏ gọn có thể tăng hiệu quả sử dụng đất từ 2 đến 5 lần thông qua khai thác không gian theo phương đứng. Mặc dù các thiết kế nhà đỗ xe 2 tầng cho không gian thấp đã xuất hiện tại Trung Quốc, nhưng do chưa được công bố rộng rãi, hiện nay ở Việt Nam vẫn chưa có thiết kế tương tự cũng như chưa được sản xuất. Về phương pháp tính toán và thiết kế, các nghiên cứu của Q. Qi [5] và Nguyễn Quang Minh [6] đã bước đầu cung cấp cơ sở tiếp cận đối với hệ nhà đỗ xe 2 tầng thông thường.

Các hệ thống nhà đỗ xe 2 tầng hoặc nhiều tầng truyền thống thường yêu cầu chiều cao lớn từ 3.6 m trở lên, do đó không phù hợp với các công trình hiện hữu. Vì vậy, việc nghiên cứu và ứng dụng nhà đỗ xe 2 tầng thấp (dưới 3 m) sử dụng cơ cấu nâng hạ đơn giản được xem là hướng đi cần thiết, góp phần tăng số lượng chỗ đỗ, giảm áp lực giao thông và nâng cao hiệu quả sử dụng đất tại các đô thị.

Bài báo này tập trung nghiên cứu giải pháp tăng số lượng chỗ đỗ xe cho tầng hầm chung cư hiện hữu bằng hệ thống đỗ xe cơ khí hai tầng thấp. Mục tiêu nghiên cứu bao gồm:

- i) Phân tích tính phù hợp của giải pháp đề xuất so với phương án đỗ xe phổ biến.
- ii) Xây dựng mô hình kết cấu cho hệ thống đỗ xe cơ khí hai tầng thấp.
- iii) Mô phỏng, tính toán và đánh giá sơ bộ khả năng làm việc của kết cấu.
- iv) Thảo luận khả năng ứng dụng thực tế và hướng phát triển tiếp theo.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khảo sát hiện trạng

Giải quyết bài toán tăng cường số chỗ đỗ xe cho các nhà chung cư cũ ở Việt Nam thực sự là bài toán khó. Thiết kế nhà chung cư trước những năm 2015 thường có chiều cao không lớn, khoảng (2.8 - 3.2) m, mật độ bố trí nhà đỗ xe ô tô rất thấp, khoảng (0.2 - 0.3) xe/căn hộ.

Khảo sát được thực hiện tại một số khu dân cư và chung cư cũ có tầng hầm thấp, thu thập dữ liệu về chiều cao thông thủy, diện tích sàn và nhu cầu chỗ đỗ thực tế. Các phương án thiết kế được so sánh trên một số tiêu chí như trong bảng sau:

Bảng 1. So sánh tổng hợp các phương án nhà đỗ xe hiện nay và đề xuất phương án

Tiêu chí	Bố trí thường	Stacker	Puzzle	Đề xuất
Chiều cao yêu cầu	$\geq 2.2\text{ m}$	$\geq 3.5\text{ m}$	$\geq 3.2\text{ m}$	$\geq 2.8\text{ m}$
Tầng số chỗ (lần)	1.1 - 1.2	1.8 - 2.0	1.5 - 1.8	1.5 - 1.7
Chi phí	Thấp	Cao	Cao	Trung bình
Độ phức tạp	Thấp	Trung bình	Cao	Trung bình

Dựa trên số liệu thu thập được, nhóm nghiên cứu xác định các dòng xe mục tiêu: sedan, hatchback, xe con cỡ nhỏ, làm cơ sở cho việc thiết kế sơ bộ.

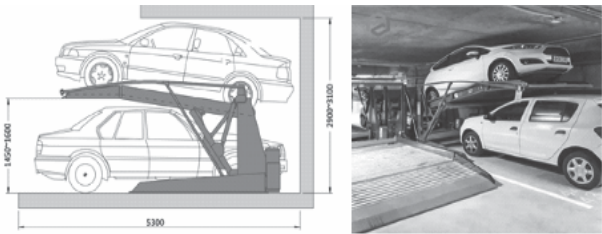
Bảng 2. Một số loại xe ô tô có thể đỗ trong nhà đỗ xe đề xuất

TT	Loại xe	Cao (mm)	Khối lượng (kg)	Đánh giá
1	Kia Morning	1490	940	✓✓
2	Toyota Vios	1475	1088	✓✓
3	Honda City	1460	1150	✓✓
4	Hyundai Accent	1460	1090	✓✓
5	Mazda 3	1440	1300	✓✓
6	Toyota Camry	1470	1490	✓ (tầng dưới)

Ưu điểm lớn nhất của hệ thống nhà đỗ xe nhóm nghiên cứu đề xuất có thể phục vụ đỗ xe 2 tầng cho chung cư cũ chiều cao thấp (dưới 3m) là tầng được khoảng 50 - 70 % chỗ đỗ xe. Tuy nhiên, nhược điểm là chỉ đỗ được loại xe nhỏ, ngắn và đồng thời khi gửi xe phải để lại chìa khóa cho người trông xe.

2.2. Mô hình hóa kết cấu

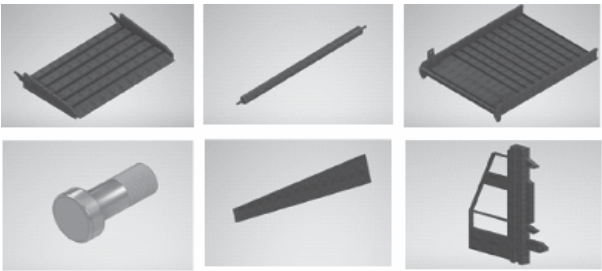
Dưới đây là mô hình nhà đỗ xe mà nhóm nghiên cứu đề xuất:



Hình 1. Nhà đỗ xe 2 tầng phục vụ cho tầng hầm có chiều cao thấp

Nhóm nghiên cứu đã sử dụng phần mềm Autodesk Inventor Professional 2025 làm công cụ chủ đạo cho toàn bộ quá trình mô phỏng và thiết kế kết cấu. Quá trình nghiên cứu được triển khai theo các bước hệ thống như sau:

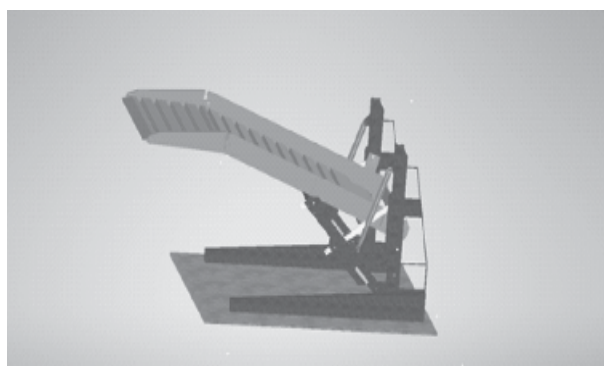
- Trước hết, tiến hành phát triển ý tưởng bố trí hệ thống nâng - hạ xe, sau đó thiết kế mô hình 3D cho các chi tiết kết cấu riêng lẻ, đảm bảo tính toán các thông số kỹ thuật và tương thích với không gian tầng hầm hạn chế.



Hình 2. Các chi tiết của nhà đỗ xe 2 tầng cho chiều cao thấp

- Sau khi hoàn tất thiết kế các chi tiết, tiến hành lắp ghép các chi tiết thành cụm máy và hoàn thiện tổng thể kết cấu.

- Tiếp theo, thực hiện mô phỏng động học trên phần mềm Inventor để đánh giá hoạt động tương tác giữa các chi tiết, kiểm tra các liên kết, quỹ đạo chuyển động, từ đó đảm bảo tính toán thiết kế chính xác và an toàn. Kết quả mô phỏng cho thấy các chi tiết hoạt động đồng bộ, không xảy ra va chạm hay xung đột cơ học giữa các bộ phận, hệ thống kết cấu hoạt động trơn tru, đồng thời quá trình lắp ráp các chi tiết và cụm chi tiết thuận lợi, cung cấp cơ sở khoa học và kỹ thuật cho việc sản xuất và lắp ráp thực tế sau này.



Hình 3. Trạng thái nhà đỡ xe 2 tầng chiều cao thấp sau khi lắp ráp xong

2.3. Phân tích kết cấu

Để đánh giá hiệu quả và độ an toàn của hệ thống nhà đỡ xe 2 tầng thấp, nhóm nghiên cứu đã thực hiện tính toán kết cấu trên phần mềm Inventor. Kết quả tính toán trên phần mềm nhận được như sau:

Mô hình nhà đỡ xe 2 tầng có chiều cao thấp dưới 3m được thiết kế đảm bảo khả năng chịu lực, độ cứng, và tính ổn định khi vận hành.



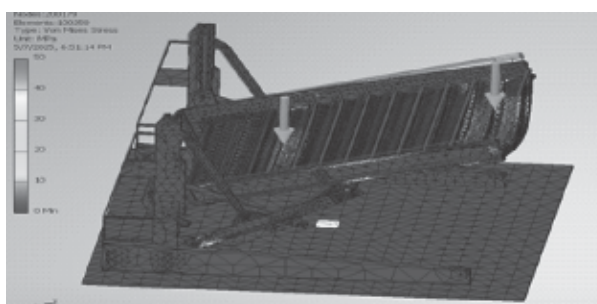
Hình 4. Biểu đồ nội lực tổng quan

Ứng suất cực đại tập trung tại các khu vực chịu lực cao như sàn nâng và thanh chịu lực chính, với giá trị lớn nhất 106.5 MPa, nằm trong giới hạn cho phép của vật liệu thép sử dụng.



Hình 5. Biểu đồ biến dạng tổng quan

Biến dạng tối đa của kết cấu khi chịu tải trọng xe là 5.47 mm, đảm bảo khả năng chịu lực và duy trì độ ổn định.



Hình 6. Biểu đồ phân bố ứng suất trên kết cấu

Kết quả phân tích biểu đồ cho thấy một số vùng màu xanh trên kết cấu đang dư thừa khả năng chịu lực, trong khi các khu vực chịu

lực cao chủ yếu tập trung tại hai vị trí đặt bánh xe trên sàn nâng. Điều này cho thấy kết cấu hoàn toàn đáp ứng các yêu cầu an toàn chịu lực theo thiết kế. Tuy nhiên, việc phân bố vật liệu hiện tại chưa tối ưu, do đó vẫn còn tiềm năng cải thiện thiết kế nhằm giảm trọng lượng bản thân của kết cấu mà không ảnh hưởng đến hiệu suất chịu lực.

Các kết quả mô phỏng động học và phân tích kết cấu cung cấp cơ sở khoa học vững chắc cho việc thiết kế hệ thống nhà đỗ xe 2 tầng thấp, đồng thời xác nhận tính khả thi của giải pháp trong điều kiện tầng hầm có chiều cao hạn chế. Giải pháp này giúp tối đa hóa số lượng chỗ đỗ và nâng cao hiệu quả sử dụng không gian.

Như vậy, mô hình nhà đỗ xe 2 tầng với chiều cao dưới 3 m được thiết kế đảm bảo khả năng chịu lực, độ cứng và tính ổn định khi vận hành, đồng thời phù hợp với các yêu cầu kỹ thuật và điều kiện không gian thực tế.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bài báo đề xuất hệ thống đỗ xe cơ khí 2 tầng thấp dưới 3 m dành cho các tầng hầm chung cư hiện hữu, được đánh giá sơ bộ thông qua mô phỏng 3D. Hệ thống có khả năng tăng số lượng chỗ đỗ từ 50 - 70% so với phương án bố trí truyền thống, tùy thuộc vào chiều rộng lối đi, vị trí cột và loại xe. Kết quả mô phỏng cho thấy quỹ đạo chuyển động hợp lý, các chi tiết phối hợp nhịp nhàng và không xảy ra va chạm, trong khi phân tích kết cấu xác định ứng suất cực đại 106.5 MPa và biến dạng lớn nhất 5.47 mm. Một số vùng dư thừa khả năng chịu lực cũng được xác định, cho thấy tiềm năng tối ưu hóa tiết diện và giảm khối lượng kết cấu. Giải pháp phù hợp với xe nhỏ và cỡ vừa, nhưng không thích hợp cho xe lớn và đòi hỏi quy trình vận hành cẩn trọng.

Ngoài giá trị học thuật, hệ thống còn mang tính ứng dụng thực tiễn cao, góp phần phát triển sản phẩm “Made in Vietnam” thay thế hàng nhập khẩu và giải quyết bài toán nhà đỗ xe tầng hầm thấp tại các đô thị. Nghiên cứu tiếp theo sẽ tập trung phân tích tải trọng động, điều kiện môi trường và khả năng mở rộng công suất, đồng thời nghiên cứu thêm cơ cấu truyền động, độ bền mỏi, an toàn vận hành và thử nghiệm thực tế nhằm hoàn thiện hệ thống. ❖

Ngày nhận bài: **23/3/2026**

Ngày phản biện: **02/4/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Tran, Q.H. (2019), “*Parking Demand and Supply in Hanoi*”. Transport and Communications Science Journal, Vol. 70(4), pp. 320-330.
- [2]. Vũ Anh Tuấn, Bùi Đức Tú, Cao Thị Phương Anh (2023), “*Nghiên cứu giải pháp thiết kế và công nghệ đối với công trình đỗ xe công cộng khu vực trung tâm thành phố*”. Tạp chí Quy hoạch đô thị, số 50.
- [3]. Chen, X., Li, Y. (2019), “*Design and Optimization of Mechanical Parking Systems*”. Journal of Mechanical Engineering, Vol. 65(3), pp. 210-218.
- [4]. Kim, J.H. et al. (2018), “*Development of Compact Parking Systems for Urban Areas*”. Journal of Construction Engineering, Vol. 144(6).
- [5]. Q. Qi, Y. Yu, Q. Dong, G. Xu, and Y. Xin, “*Lightweight and green design of general bridge crane structure based on multi-specular reflection algorithm*”. Advances in Mechanical Engineering, Volume 13, Issue: 10, Page 1-15, 2021.
- [6]. Nguyễn Quang Minh, “*Ứng dụng phần mềm SAP 2000 hợp lý hóa thiết kế kết cấu thép hệ thống đỗ xe ô tô hai tầng với các điều kiện sử dụng ở Việt Nam*”. Tạp chí Xây dựng, 5/2023.