

NGHIÊN CỨU VỀ ĐỘ BỀN TĨNH CỦA KHUNG XE BUÝT RESEARCH ON THE STATIC DURABILITY OF BUS FRAME

PHẠM VĂN TUẤN, TRẦN THANH TÙNG*

Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email liên hệ: tung.tran THANH2@hust.edu.vn

Tóm tắt

Đô thị ngày càng phát triển, phương tiện vận tải hành khách công cộng ngày càng được sử dụng rộng rãi đặc biệt là xe buýt. Tình trạng sử dụng xe buýt quá tải đã ảnh hưởng đến độ bền khung xe buýt và các chi tiết khác. Do vậy, trong quá trình thiết kế khung xe, việc nghiên cứu đánh giá độ bền khung xe là rất quan trọng. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tính toán kiểm tra độ bền khung xe buýt. Khung xe được mô phỏng đánh giá độ bền bằng phần mềm HyperWorks để xác định được chuyển vị và ứng suất tại các vị trí của khung. Quá trình xây dựng bài toán được thực hiện dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn, từ đó quan sát ứng suất cũng như biến dạng của khung. Khung xe được kiểm tra với trường hợp tải trọng tĩnh, chịu tải trọng toàn bộ. Kết quả mô phỏng dùng để phân tích, đánh giá tính an toàn của khung. Kết quả mô phỏng cho thấy khung xe đủ bền, các vị trí gây tập trung ứng suất như các mối hàn, vị trí lắp hệ thống treo.

Từ khóa: Độ bền, khung xe buýt, phương pháp phần tử hữu hạn, mô phỏng.

Abstract

Urban areas are growing, public passenger transport is increasingly used, especially buses. Bus overload has affected the strength of the bus frame and other part. Therefore, it's very important to research on the evaluation of the frame reliability when frame is design. The paper presents the results of the research, calculation of bus fame durability. The chassis is simulated and evaluated for durability by HyperWorks software to determine displacement and stress of the frame. The process of building the problem is done based on finite element method, thereby observing the stress as well as the deformation of the frame. The chassis is tested under the satic load case, bearing the full load. Simulation results are used to analyze the safety of frames. The simulation results show that the chassis is durable, the places

that cause stress are concentrated such as the welds, the position of the suspension system.

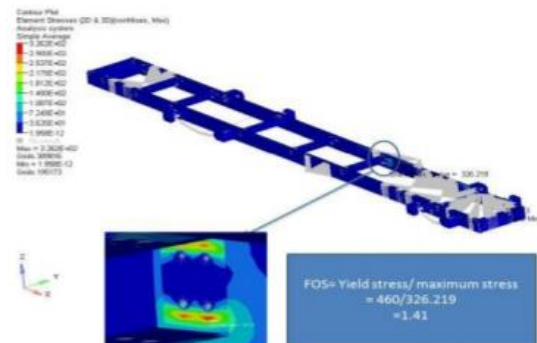
Keywords: Durability, bus frame, finite element method, simulation.

1. Đặt vấn đề

Bên cạnh xu hướng phát triển của xe buýt, vấn đề an toàn luôn được đặt lên hàng đầu vì nó ảnh hưởng trực tiếp đến tính mạng người lái và hành khách. Do khung xe có vai trò là giá đỡ cho toàn bộ các hệ thống trên xe, chịu tải trọng toàn bộ trong suốt quá trình vận hành. Việc tính toán mô phỏng, kiểm bền khung xe là hết sức quan trọng nhằm đánh giá khả năng làm việc, nâng cao tuổi thọ,... của khung xe. Do đó, bài báo này sẽ tiếp cận xử lý một vấn đề, đó là kiểm nghiệm độ bền khung xe khi chịu tải trọng tĩnh.

Để giải quyết vấn đề trên, có rất nhiều cách khác nhau, trong đó cách giải quyết tối ưu là sử dụng các phần mềm mô phỏng để phân tích, đánh giá để đưa ra các giải pháp tốt. Phần mềm mô phỏng giúp tiết kiệm thời gian phân tích, tính toán dễ dàng hơn, có thể tối ưu hóa kết cấu khung xe cũng như chi phí cho việc thực nghiệm đồng thời quan sát được ứng suất, chuyển vị của từng vị trí của khung xe. Quá trình xây dựng bài toán được thực hiện dựa trên lý thuyết phần tử hữu hạn. Một số bài báo quốc tế cũng đã thực hiện mô phỏng kiểm bền tĩnh khung xe kết quả được thể hiện như dưới đây [1]:

Với hệ số an toàn $n = 1,41$, ứng suất max là 326Mpa.



Hình 1. Kết quả mô phỏng ứng suất của khung xe

2. Cơ sở lý thuyết nghiên cứu

2.1. Cơ học sức bền

Độ bền là khả năng kết cấu chịu được một tải trọng nhất định mà không bị phá hỏng trong một thời gian được gọi là tuổi thọ của kết cấu [2].

Phương trình ứng suất tổng quan:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Dưới tác dụng của ngoại lực, mọi vật rắn thực đều bị biến dạng, nghĩa là biến đổi hình dạng do ngoại lực làm thay đổi vị trí tương đối lẫn nhau giữa các phần tử cấu tạo nên vật rắn đó. Vật rắn được gọi là đàn hồi (hay đàn hồi tuyệt đối) nếu nó có khả năng phục hồi hoàn toàn kích thước và hình dạng vốn có sau khi không còn ngoại lực tác dụng nữa, biến dạng được khôi phục hoàn toàn sau khi hết tác dụng ngoại lực được gọi là biến dạng đàn hồi. Trong thực tế không có vật đàn hồi tuyệt đối. Đối với nhiều vật rắn, khi tác dụng ngoại lực vượt quá một giới hạn nhất định thì biến dạng của nó là biến dạng đàn hồi, nhưng khi vượt quá giới hạn đó thì vật chỉ khôi phục được một phần biến dạng. Phần biến dạng không khôi phục được ấy, gọi là biến dạng dẻo, hay biến dạng dư. Vật đàn hồi tuyến tính là vật mà biến dạng đàn hồi tỉ lệ bậc nhất với nội lực [3].

Tải trọng tĩnh là tải trọng đặt lên kết cấu thay đổi chậm đến mức khi kết cấu bị biến dạng thì các chất điểm của nó hầu như không có gia tốc, nghĩa là có thể bỏ qua lực quán tính sinh ra khi kết cấu làm việc [3].

2.2. Bài toán tuyến tính tĩnh

Đây là dạng bài toán được dùng để phân tích mô phỏng kiểm bền cho kết cấu khung xe. Bài toán này có một số đặc điểm như:

- Tuyến tính: Là biểu thị phần đàn hồi tuyến tính của vật liệu. Đó là phần tuyến tính của đường cong vật liệu và được xác định theo định luật Hooke: $\sigma = \epsilon \cdot E$, phương trình này là phương trình của một đường thẳng có dạng $y = a \cdot x$ và đi qua gốc tọa độ.

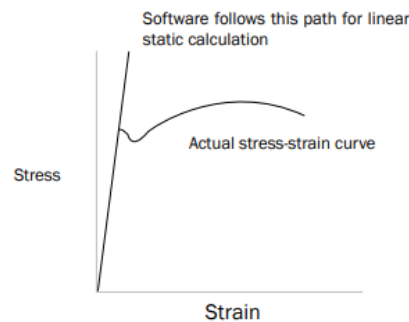
Trong đó: E là mô đun đàn hồi, là độ dốc của đường cong vật liệu và là một hằng số, phụ thuộc vào từng vật liệu, ϵ là biến dạng dài tương đối, σ là ứng suất.

$$\tan \alpha = \frac{\sigma}{E}$$

Trong đó: α là góc dốc của đường tuyến tính.

Trong thực tế, sau khi vượt qua điểm ứng suất chảy, vật liệu sẽ đi theo đường cong phi tuyến, nhưng bộ giải của phần mềm vẫn coi là đường thẳng và tính toán. Các thành phần được chia thành 2 phần riêng biệt sau khi đi qua ứng suất giới hạn đó là vùng tuyến tính và

vùng phi tuyến [4]. Đường cong vật liệu được thể hiện như Hình 2:



Hình 2. Đường cong vật liệu

Với stress là ứng suất, strain là biến dạng, software follows this path for linear static calculation là phần mềm sẽ tính toán cho bài toán tuyến tính tĩnh theo đường này, actual stress-strain curve là đường cong ứng suất - biến dạng thực tế.

- Tĩnh: Có 2 điều kiện để bài toán trở thành bài toán phân tích tĩnh:

Thứ nhất là lực tĩnh (tải trọng tĩnh) là lực tác động lên vật có giá trị không thay đổi theo thời gian.

Thứ hai là phải thỏa mãn về điều kiện cân bằng (tổng ngoại lực, mô men tác động lên hệ vật bằng 0).

Mô hình phần tử hữu hạn sẽ đáp ứng điều kiện này ở mỗi nút và mọi nút. Tổng của tất cả các lực và mô men tác động từ bên ngoài lên các vị trí bằng với các phản lực và mô men phản ứng [4].

Người phân tích phải đưa ra được kết luận là có đủ bền hay không và có thể đưa ra giải pháp làm tăng độ bền, việc đánh giá độ bền thông qua ứng suất cực đại khi tính toán trên phần mềm mô phỏng có được, sau đó so sánh nó với ứng suất giới hạn của vật liệu xét cho bài toán. Nếu trong các điều kiện về tải trọng, nó thỏa mãn các điều kiện trên thì bài toán là chạy đúng và có thể phân tích được.

Xây dựng bài toán mô phỏng thông qua việc chia lưới tạo ra nhiều phần tử và các nút, quá trình phân tích và tính toán được thực hiện dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn.

3. Thiết kế và mô phỏng

3.1. Xây dựng mô hình thiết kế và mô hình phần tử hữu hạn

HyperWorks là nền tảng mô phỏng có kiến trúc mở toàn diện nhất cung cấp các công nghệ hàng đầu để thiết kế và tối ưu các sản phẩm một cách sáng tạo và có hiệu quả. HyperWorks là một phần mềm mô phỏng

số được xây dựng dựa trên lý thuyết phương pháp phần tử hữu hạn. HyperWorks được đánh giá là một trong những bộ phần mềm mô phỏng số mạnh nhất hiện nay, được tích hợp nhiều công cụ để dễ dàng mô hình hóa, phân tích, tối ưu, quản lý dữ liệu mô phỏng,... Ngoài ra, điểm mạnh của HyperWorks có thể kể đến là khả năng nhập và xuất dữ liệu với nhiều định dạng khác nhau nhằm tương tác với các phần mềm CAE khác như Ansys, Abaqus,... và giúp dễ dàng nhập mô hình từ các phần mềm CAD khác cũng như có nhiều loại vật liệu phục vụ cho mô phỏng.

Việc xây dựng mô hình xuất phát từ mô hình xe buýt thực tế được thể hiện như Hình 3.



Hình 3. Mô hình xe buýt thực tế

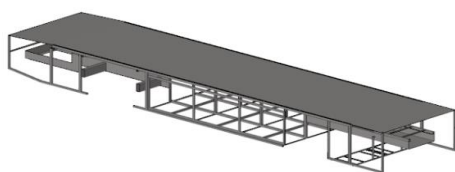
Một số thông số kích thước của khung dưới xe và tấm sàn:

Chiều dài x Chiều rộng x Chiều cao:

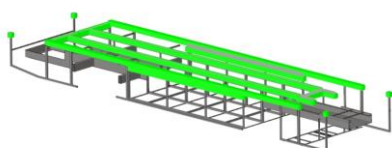
11500 x 2455 x 1040 (mm).

Trọng lượng toàn bộ: 6120 kg.

Từ mô hình thực tế tiến hành xây dựng mô hình phần tử hữu hạn bằng cách chia lưới thành các phần tử bằng phần mềm Hyperworks như trên Hình 4.



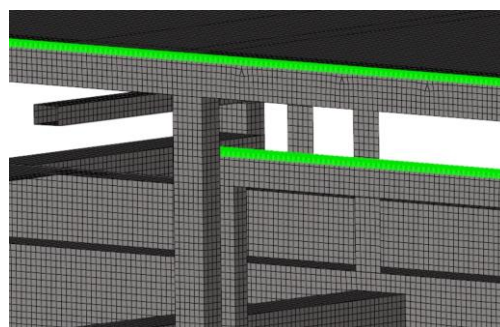
Hình 4. Mô hình phần tử hữu hạn của khung dưới xe buýt



Hình 5. Mối hàn trên khung xe buýt

Kết cấu của khung xe được chế tạo bằng các thanh thép hộp với độ dày 5mm và tấm sàn để chịu lực tác dụng có độ dày là 10mm. Khung dưới của xe được liên kết với tấm sàn bằng mối hàn điểm như Hình 5:

Giả thiết xét mối hàn là phần tử cứng tuyệt đối dùng để liên kết giữa các nút của khung dưới với các nút của tấm sàn. Chi tiết lưới của khung dưới xe và mối hàn được thể hiện như Hình 6:



Hình 6. Chi tiết lưới và mối hàn

Mô hình phần tử hữu hạn được sử dụng theo tiêu chuẩn theo Bảng 1.

Bảng 1. Thông số của phần tử hữu hạn

Thông số	Giá trị
Số lượng phần tử	610232 phần tử
Số lượng nodes	616816 nodes

Do mô hình khá lớn, cấu hình máy tính còn nhiều hạn chế nên ta chọn kích thước lưới là 10mm [1].

Vì mô hình khung xe có một số vị trí phức tạp, để nâng cao hiệu quả, cần phải đơn giản hóa mô hình phần tử hữu hạn. Nguyên tắc chung của việc đơn giản hóa mô hình là bỏ qua các chi tiết nhỏ và không ảnh hưởng đến phân tích, với điều kiện là thuộc tính không thay đổi. Những chi tiết hình học nhỏ này ít ảnh hưởng đến sức chịu lực và độ cứng của khung xe, nhưng làm giảm độ chính xác tính toán. Do đó, các chi tiết hình học này được bỏ qua [5-6]

3.2. Xây dựng bài toán tuyến tính tĩnh

3.2.1. Thông số vật liệu

Bảng 2. Thông số vật liệu của thép

Tham số	Giá trị	Đơn vị
Mô đun đàn hồi (E)	210000	MPa
Hệ số poisson	0,3	-
Khối lượng riêng	$7,89 \cdot 10^{-9}$	g/mm^3
Ứng suất giới hạn	420	MPa

Sử dụng thông số vật liệu khung xe là thép như trong Bảng 2 cho mô hình khung xe sau khi chia lưới phần tử hữu hạn.

3.2.2. Điều kiện biên

Các loại tải chính có sẵn trong FEA bao gồm lực, áp suất và nhiệt độ,... Chúng có thể được áp dụng cho các điểm, bề mặt, cạnh, nút và các yếu tố hoặc bù từ xa từ một tính năng [5]. Cách mà mô hình bị hạn chế (ràng buộc) có thể ảnh hưởng đáng kể đến kết quả.

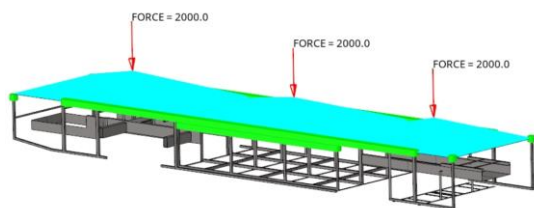
Điều kiện biên là một vị trí trên kết cấu mà tại đó ngoại lực hoặc chuyển vị được biết trước khi bắt đầu phân tích. Các điều kiện biên là những nơi mà cấu trúc tương tác với môi trường, thông qua tác dụng của một lực bên ngoài hoặc thông qua một số giới hạn sự dịch chuyển. Để một bài toán phân tích cấu trúc có thể giải được, mọi vị trí trên ranh giới của cấu trúc phải có một điều kiện biên đã biết. Những vị trí trên cấu trúc không có ngoại lực, điều kiện biên dịch chuyển bằng 0 tương đương với kết cấu được giữ cố định tại vị trí đó. Mỗi điểm trong không gian đều có 6 bậc tự do và có thể tịnh tiến theo 3 hướng và quay quanh 3 trục [7].

Chúng ta có thể đặt bất kỳ ràng buộc nào (ví dụ như ràng buộc nút) đối với bậc tự do của một nút hoặc các nút với các ràng buộc tịnh tiến hoặc quay,... Tương tự ta có thể áp dụng đặt lực hoặc các điều kiện biên khác theo yêu cầu của bài toán sao cho nó phù hợp với thực tế [5].

Khi tiến hành đặt điều kiện biên cho mô hình ta có các giả thiết sau:

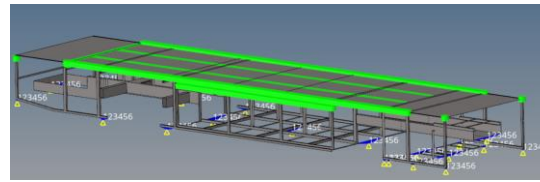
Khung được chia làm 3 vùng đặt lực: Đầu xe, thân xe và đuôi xe và coi như lực phân bố đều lên mỗi vùng, tải trọng phân bố đều trên mỗi vùng là 20000N và ta đặt lực trên nút chính của phần tử RBE3 tại trọng tâm của mỗi vùng. Phần tử phân bố khối lượng (RBE3) là phần tử gồm có 1 nút chủ và tập hợp các nút phụ. Đặt khối lượng vào nút chủ và khối lượng sẽ phân bố ra các nút phụ. Dùng để thể hiện khối lượng đặt lên xe, trong bài toán này thì đặt khối lượng lên tấm sàn qua các vùng đặt lực trên.

Lực đặt lên mỗi vùng khung xe bao gồm khối lượng hệ thống đặt lên, khối lượng hành khách và một phần khối lượng vỏ sau khi đã tính toán bằng phần mềm. Đặt ngàm tại các vị trí liên kết với hệ thống treo và cầu xe hoặc bánh xe, tại các vị trí đó ta tạo các phần tử RBE3 để đặt cố định cả 6 bậc tự do [8].



Hình 7. Đặt lực (tải trọng) lên khung qua phần tử RBE3

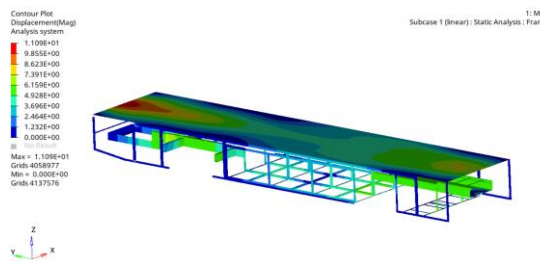
Căn cứ vào các giả thiết trên, việc tiến hành đặt điều kiện biên biểu diễn như trên Hình 7 và Hình 8.



Hình 8. Các vị trí đặt ngàm thông qua phần tử RBE3

4. Phân tích và xử lý kết quả

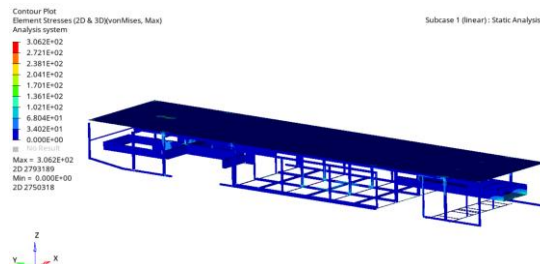
Sau khi tiến hành tính toán và mô phỏng kiểm bền tĩnh cho khung dưới và tấm sàn của xe buýt ta thu được kết quả như Hình 9-14.



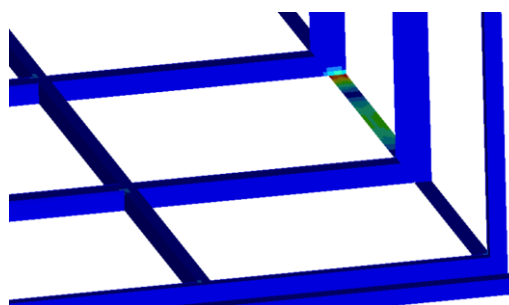
Hình 9. Chuyển vị của toàn bộ mô hình



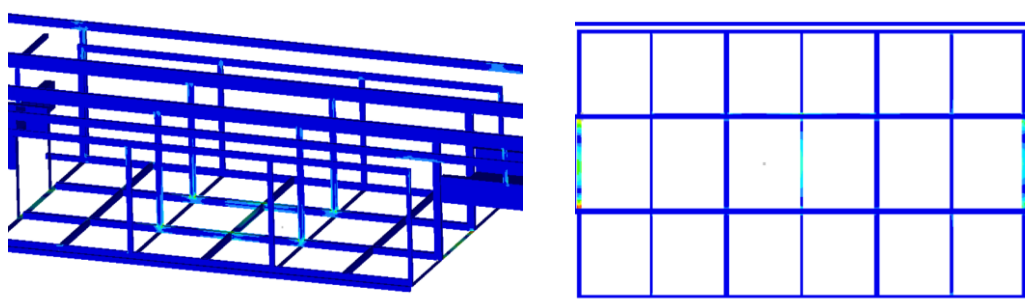
Hình 10. Chuyển vị của tấm sàn



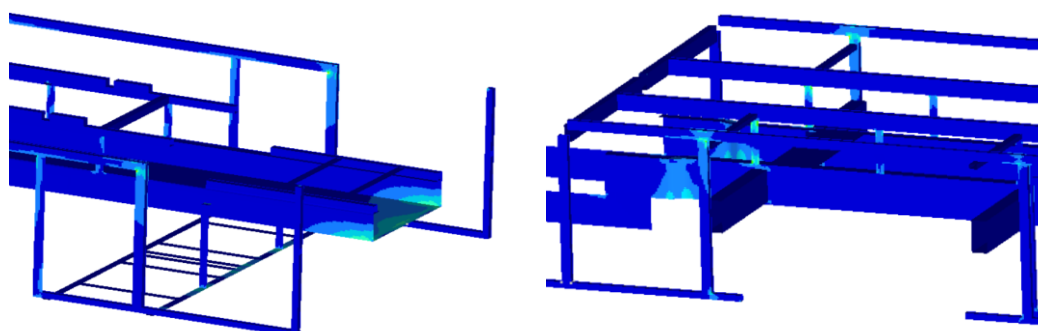
Hình 11. Phân bố ứng suất trên khung dưới xe và tấm sàn



Hình 12. Vị trí ứng suất đạt giá trị cực đại



Hình 13. Ứng suất phân bố trên khung giữa



Hình 14. Ứng suất tại khung trước và khung sau

Đánh giá kết quả:

Sau khi mô phỏng ta thu được các kết quả như trong Bảng 3.

Bảng 3. Tổng hợp kết quả mô phỏng

Thông số	Giá trị max	Vị trí đạt cực đại
Chuyển vị (mm)	11,087	Giữa tấm sàn ở đuôi xe
Ứng suất (MPa)	306,2	Vị trí liên kết giữa các thanh tấm hộp của khung giữa

Kết quả tính toán cho thấy:

Ứng suất tập trung lớn nhất là 306,2MPa nhỏ hơn ứng suất giới hạn của vật liệu (420MPa). Với ứng suất tính toán ra được, kết luận được rằng khung xe đủ bền khi đạt tải trọng tối đa.

Ứng suất tập trung chủ yếu tại các mối hàn, các vị trí liên kết các thanh tấm hộp của khung giữa và chuyển vị lớn nhất ở giữa tấm sàn ở đuôi xe.

Chuyển vị là tương đối lớn (>10mm) nhưng vẫn đảm bảo độ an toàn cho hành khách, do vị trí đầu và cuối tấm sàn khi đơn giản hóa không có các cột dọc của khung xe liên kết với tấm sàn do đó khi chịu tải trọng phân bố đều thì chuyển vị khá lớn.

Hệ số an toàn:

$$n = \frac{\sigma_{\text{giới hạn}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{420}{306,2} = 1,37 > 1.$$

Với hệ số an toàn khá cao do đó xe đủ bền với vật liệu đã sử dụng, xe có khả năng chở thêm người hoặc tăng tải trọng toàn bộ. Nhưng để có thể chính xác, cần phải kiểm tra lại khung một lần nữa.

Việc nghiên cứu cho thấy việc quan trọng khi sử dụng phần mềm mô phỏng để tính toán kiểm tra bền khung xe buýt. Từ đó có thể tránh việc sử dụng sai như việc quá tải dẫn tới khung dễ hỏng, gãy trong quá trình sử dụng, ảnh hưởng nguy hiểm tới người trên xe. Ngoài ra ta có thể mô phỏng khung với các vật liệu khác nhau cũng như các khối lượng, tải trọng đặt vào khác nhau. Để tìm giải pháp tối ưu được thiết kế, cũng như giới hạn khối lượng lên khung. Công việc này có thể xác định lại được vật liệu đặt lên khung giúp tiết kiệm chi phí hoặc để tối ưu được khả năng hoạt động của xe. Từ nghiên cứu, ta có thể kiểm bền tĩnh đối với các chi tiết khác, các bộ phận khác một cách tương tự.

Sau quá trình kiểm tra độ bền tĩnh cho khung xe buýt, có thể mở rộng hướng nghiên cứu hơn về việc tối ưu hóa kết cấu (như có thể tăng cứng vật liệu hoặc thay đổi một chút kết cấu như tạo thêm gân tăng cứng, tăng cứng mối hàn,...), kiểm tra bền động, bền mỏi,... hoặc có thể xây dựng các bài toán mô phỏng va chạm để kiểm tra sự an toàn người lái và hành khách trên xe.

5. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu tổng quan về kiểm bền khung xe buýt bằng việc mô phỏng đánh giá độ bền trên phần mềm HyperWorks. Bài báo cũng giới thiệu phương pháp tính kiểm nghiệm bền khung xe buýt trong trường hợp tải trọng toàn bộ và đó là tải trọng tĩnh, xác định được ứng suất, chuyển vị, hệ số an toàn. Từ đó xác định các vị trí gây tập trung ứng suất có thể dẫn đến gãy, các vị trí thừa bền để có thể đưa ra các phương án tối ưu hóa kết cấu khung xe. Đây mới chỉ là những kết quả nghiên cứu kiểm tra độ bền để thiết kế chế tạo các chi tiết và các cụm chi tiết. Để có thể đánh giá xác thực hơn thì cần các thí nghiệm thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Gurjar, M., Deshmukh, S., Goswami, S., Mathankar, V., & Shrivastava, S., *Design and Durability Analysis of Ladder Chassis Frame*, SSRN Electronic Journal, 2019.
- [2] Nguyễn Đình Đức, Đào Như Mai, *Sức bền vật liệu và kết cấu*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2011.
- [3] Đặng Việt Cường, *Sức bền vật liệu*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2008.
- [4] Altair Engineering, *Student Guide*, Academic Program, 2015.
- [5] Altair Engineering, *HMD-INTRO-MANUAL-TOTAL-v13-MR-APRIL10*, Academic Program, 2014.
- [6] Wang Peng, Wu Yong-hai, *Fatigue Life Analysis of a New Semi-Trailer Frame Base on FEA Method*, International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design, 2010.
- [7] Rupesh Patil, Vinayak Chikkalai, *FEA Analysis of FSAE Chassis*, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2020.
- [8] Ashutosh Dubey and Vivek Dwivedi, *Vehicle Chassis Analysis: Load Cases & Boundary Conditions For Stress Analysis*, 11th National Conference on Machines and Mechanisms held at the Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi, 2003.

Ngày nhận bài:	26/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	05/8/2021
Ngày duyệt đăng:	20/8/2021