

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HƯỚNG IN ĐẾN CHẤT LƯỢNG SẢN PHẨM

A STUDY ON THE EFFECT OF PRINTING ORIENTATION ON PRODUCT QUALITY

Lương Đức Chung<sup>1,\*</sup>,  
Bùi Văn Hưng<sup>2</sup>, Vũ Quốc Huy<sup>2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huic5804.2025.325>

## TÓM TẮT

Công nghiệp in 3D là một xu hướng của cách mạng công nghiệp 4.0 và là xu thế của tương lai, dần thay thế việc chế tạo các chi tiết từ đơn giản đến phức tạp chỉ bằng vài thao tác nhỏ. Trong những năm gần đây, ứng dụng in 3D trong lĩnh vực cơ khí đã thu hút sự quan tâm mạnh mẽ từ cộng đồng nghiên cứu và công nghiệp. Dựa trên cơ sở các nghiên cứu hiện có, đồng thời với mục tiêu nâng cao hiểu biết chuyên môn và phục vụ thực tiễn in ấn 3D sau này, nghiên cứu này tập trung vào việc tối ưu hóa hướng in nhằm giảm thiểu thời gian in, cải thiện chất lượng bề mặt sản phẩm và tối ưu hóa cấu trúc hỗ trợ (support). Kết quả mô phỏng và in thử nghiệm cho thấy hướng in Surface 2 đạt được sự cân bằng tốt nhất: thể tích support chỉ khoảng 19.000mm<sup>3</sup>, thời gian in ~6.198s, chuyển vị cực đại 0,8388mm, trong khi chất lượng bề mặt in nhẵn, ít khuyết tật và hình học ổn định. Điều này chứng minh rằng lựa chọn hướng in Surface 2 không chỉ giúp tiết kiệm vật liệu và thời gian mà còn đảm bảo chất lượng sản phẩm vượt trội so với các phương án khác.

**Từ khóa:** Máy in 3D, nhựa ABS, tối ưu hóa hướng in 3D.

## ABSTRACT

The 3D printing industry is a trend of the Fourth Industrial Revolution and the future, gradually replacing the manufacturing of components from simple to complex with just a few small steps. In recent years, the application of 3D printing technology in mechanical engineering has attracted many researchers. Based on existing research and the desire to enhance understanding and serve future 3D printing processes, this paper discusses optimizing print orientation to reduce print time, improve surface quality, and optimize the area. Simulation and experimental results show that the Surface 2 orientation provides the most balanced performance: support volume of approximately 19,000mm<sup>3</sup>, printing time of ~6,198 s, and a maximum displacement of 0.833mm, while the printed surfaces are smooth, with few defects, and geometrically stable. This demonstrates that selecting the Surface 2 orientation not only saves material and time but also ensures superior product quality compared with other orientations.

**Keywords:** 3D printers, ABS plastic, optimization of 3D printing orientation.

<sup>1</sup>Khoa Khoa học cơ bản, Trường Đại học Giao thông vận tải

<sup>2</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông vận tải

\*Email: chung.hhvkt@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/7/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 12/9/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/9/2025

## 1. GIỚI THIỆU

Công nghệ in 3D [1], hay còn gọi là công nghệ in ba chiều, là phương pháp sản xuất lớp chồng (additive manufacturing), trong đó vật liệu được tích lũy từng lớp để tạo nên các chi tiết có hình dạng ba chiều dựa trên mô hình kỹ thuật số. Khác với các phương pháp gia

công truyền thống như tiện, phay hay đúc, in 3D không yêu cầu khuôn mẫu và cho phép chế tạo các chi tiết có hình học phức tạp với độ chính xác cao, tối ưu hoá vật liệu sử dụng và rút ngắn thời gian từ thiết kế đến sản phẩm. Kể từ khi được Charles W. Hull [11] phát minh vào những năm 1980 với công nghệ stereolithography (SLA

- quang trùng hợp nhựa lỏng cảm quang), công nghệ in 3D đã phát triển mạnh mẽ và hiện nay được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như cơ khí chế tạo, y sinh, hàng không và giáo dục.

Trong quá trình phát triển và ứng dụng, nhiều nghiên cứu [7, 8] đã tập trung vào việc tối ưu hóa các thông số ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm in 3D. Trong số đó, hướng in [4, 5] được xem là một yếu tố then chốt tác động trực tiếp đến chất lượng bề mặt, khả năng tạo hình, độ chính xác hình học cũng như các tính chất cơ học của chi tiết sau in. Nhằm làm rõ vai trò và ảnh hưởng của thông số này, nhiều công trình nghiên cứu trong và ngoài nước đã được thực hiện trong thời gian qua.

Các nghiên cứu tập trung vào đặc tính hình học bề mặt cho thấy hướng in ảnh hưởng rõ rệt đến độ nhám, độ bóng và hiện tượng stair-stepping (hiệu ứng bậc thang do lớp in chồng lên nhau) trong quá trình in. Nghiên cứu của Bellamkonda và Dwivedy [2] phân tích ảnh hưởng của hướng in đến độ bền kéo, độ cứng và độ nhám bề mặt trong công nghệ polymer jetting, cho thấy sự biến động đáng kể của các chỉ tiêu này khi thay đổi hướng in. Trong khi đó, Goracci C [3] thực hiện thí nghiệm với vật liệu resin nha khoa, cho thấy hướng in theo phương đứng tuy tạo được độ bóng cao nhưng lại làm tăng độ nhám bề mặt. Tương tự, Buj-Corral I [4] kết luận rằng hướng in là yếu tố chi phối chính đến chất lượng bề mặt, đặc biệt trong điều kiện góc nghiêng lớn, do hiệu ứng stair-stepping rõ rệt. Đáng chú ý, bài tổng quan do Golhin [5] đã hệ thống hoá các ảnh hưởng của hướng in đến sai số hình học, độ biến dạng và chất lượng bề mặt, từ đó khuyến nghị sử dụng hướng in có góc nhỏ hơn  $45^\circ$  để đạt hiệu quả tối ưu.

Bên cạnh các nghiên cứu về bề mặt, một nhóm các công trình khác đã tập trung vào đánh giá ảnh hưởng của hướng in đến tính chất cơ học và khả năng làm việc của chi tiết in, bao gồm độ bền kéo, độ cứng và đặc tính tribo học. Trong đó, Hanon M. M [6] khảo sát vật liệu composite PLA-bronze cho thấy hướng in on-edge (in theo phương cạnh) có độ bền kéo cao hơn đáng kể so với upright (in theo phương thẳng đứng). Bên cạnh đó, Bouzaglou [7] chứng minh rằng hướng in nằm ngang cải thiện sai số hình học và giảm độ nhám hiệu quả. Trong khi đó, Wang E [8] tiến hành tối ưu hoá ba góc định hướng không gian để đạt sức bền kéo lớn nhất, ghi nhận sự dao động lên đến 78,7% khi thay đổi hướng in. Cùng hướng tiếp cận đó, P. Turek [9] sử dụng hệ thống đo GOM Scan và MarSurf để cho thấy sai số kích thước

phụ thuộc mạnh vào orientation, từ đó đề xuất các định hướng tối ưu để kiểm soát hình học sản phẩm.

Tại Việt Nam, một nghiên cứu đáng chú ý do Cuong N. V [10] thực hiện trên máy in Markforged Metal X với vật liệu thép không gỉ 17-4 PH đã cho thấy độ nhám bề mặt thay đổi lớn theo hướng in. Mẫu in theo upright đạt  $R_a \approx 7,42\mu\text{m}$  trong khi mẫu nằm ngang (flat) đạt  $R_a \approx 82,8\mu\text{m}$ . Nghiên cứu này đồng thời đề xuất mô hình dự đoán độ nhám dựa trên hướng in nhằm phục vụ tối ưu hoá quy trình in kim loại trong nước Mặc dù đối tượng nghiên cứu là thép không gỉ 17-4 PH thay vì nhựa ABS, kết quả này vẫn nhấn mạnh tính phổ quát của hiện tượng: orientation là một thông số then chốt ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sản phẩm in 3D, bất kể loại vật liệu sử dụng. Mặc dù đối tượng nghiên cứu là thép không gỉ 17-4 PH thay vì nhựa ABS, kết quả này vẫn nhấn mạnh tính phổ quát của hiện tượng: "Hướng in" là một thông số then chốt ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sản phẩm in 3D.

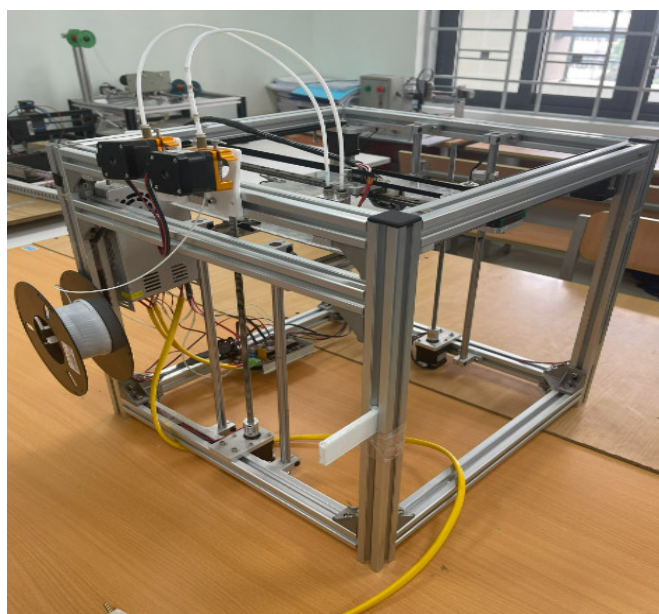
Từ tổng quan trên, có thể thấy rằng hướng in là một thông số có ảnh hưởng sâu rộng đến nhiều đặc trưng kỹ thuật của sản phẩm in 3D. Do đó, việc tiếp tục nghiên cứu, mô phỏng và thực nghiệm các hướng in khác nhau là cần thiết để tìm ra phương án tối ưu hóa phù hợp với từng loại vật liệu và yêu cầu ứng dụng cụ thể. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của các phương án hướng in khác nhau đến chất lượng sản phẩm in 3D sử dụng vật liệu nhựa ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene - nhựa nhiệt dẻo kỹ thuật, có độ bền va đập cao, dễ gia công). Bằng cách kết hợp giữa mô phỏng số với phần mềm Altair Inspire và thử nghiệm thực tế bằng máy in 3D, nghiên cứu tập trung phân tích các chỉ tiêu như chuyển vị, ứng suất, và lượng vật liệu hỗ trợ cần thiết. Kết quả thu được cho phép so sánh định lượng giữa các hướng in, qua đó đề xuất phương án in phù hợp nhằm cải thiện chất lượng bề mặt, giảm thiểu vật liệu support và tối ưu hóa độ chính xác hình học của chi tiết.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phần mềm được sử dụng trong nghiên cứu là Altair Inspire, một công cụ mô phỏng tiên tiến cho phép dự đoán và giảm thiểu các sự cố tiềm ẩn trong quá trình in 3D, diễn hình như biến dạng nhiệt hay khuyết tật kết cấu. Không những thế phần mềm còn hỗ trợ để phân tích ứng suất - biến dạng trong các chi tiết làm bằng vật liệu nhựa, đảm bảo sản phẩm cuối cùng không bị hỏng hóc, giữ nguyên năng và thiết kế cấu trúc support xảy ra trong quá trình in, chẳng hạn như biến dạng nhiệt

hay các khuyết tật về cấu trúc. Trong nghiên cứu này, vật liệu được sử dụng là nhựa ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene). Đây là loại nhựa nhiệt dẻo kỹ thuật phổ biến trong in 3D nhờ có độ bền va đập cao, độ cứng tốt và khả năng gia công thuận lợi. là nhựa nhiệt dẻo kỹ thuật phổ biến, có mật độ khoảng 1,06 - 1,10g/cm<sup>3</sup>, nhiệt độ chuyển kính ~100 - 105°C [12]. ABS nổi bật với độ bền va đập cao, ổn định kích thước và khả năng gia công tốt - lý tưởng cho ứng dụng in 3D cơ khí và nguyên mẫu.

Các mô hình 3D sau khi được mô phỏng phải chuyển đổi định dạng tệp sang \*.STL, sau đó đưa vào phần mềm Repetier-Host (phần mềm cắt lớp và sinh mã G-code điều khiển máy in 3D). Tại đây, đối tượng được xử lý bằng các chức năng cắt lớp vật thể do công nghệ in 3D theo từng lớp sao cho độ dày lớp cắt càng mỏng thì chất lượng bề mặt và độ chính xác của mẫu in càng cao. Cuối cùng, mô hình được đưa vào quá trình in thử nghiệm trên máy in 3D để đánh giá tính khả thi và độ chính xác của toàn bộ quy trình.

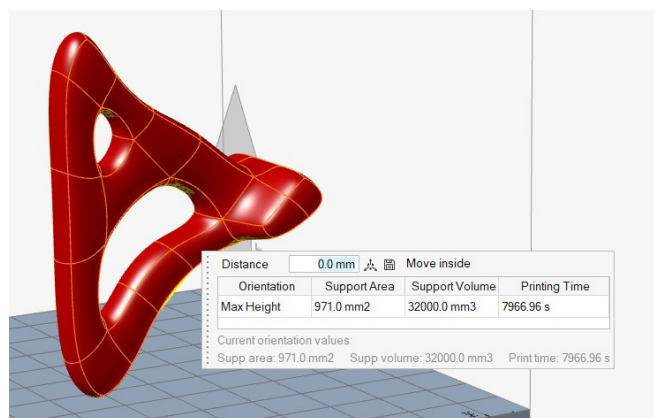


Hình 1. Máy in 3D

### 3. KHẢO SÁT HƯỚNG IN

Sử dụng phần mềm Altair Inspire để khảo sát và đánh giá hướng in trong in 3D là một quá trình chi tiết bao gồm việc tạo mô hình, thiết lập các hướng in khác nhau đến phân tích kết quả để tối ưu hóa độ bền cơ học và chất lượng bề mặt sản phẩm. Phần mềm hỗ trợ lựa chọn hướng in phù hợp, đồng thời giúp rút ngắn thời gian in thông qua các thuật toán mô phỏng tối ưu. Các mẫu in 3D được thử nghiệm với nhiều hướng in khác nhau để đánh giá toàn diện ảnh hưởng của yếu tố này đến chất lượng bề mặt sản phẩm và thời gian in.

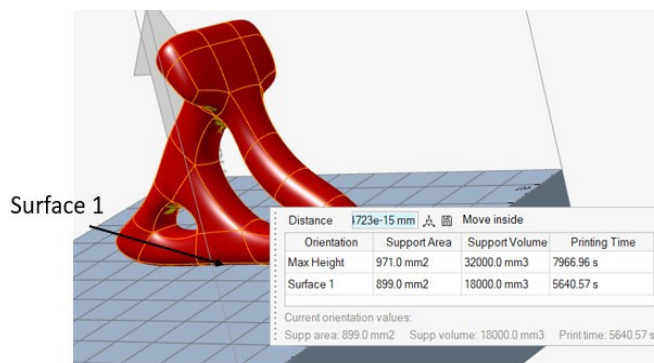
### 3.1. Khảo sát, đánh giá hướng in Max Height



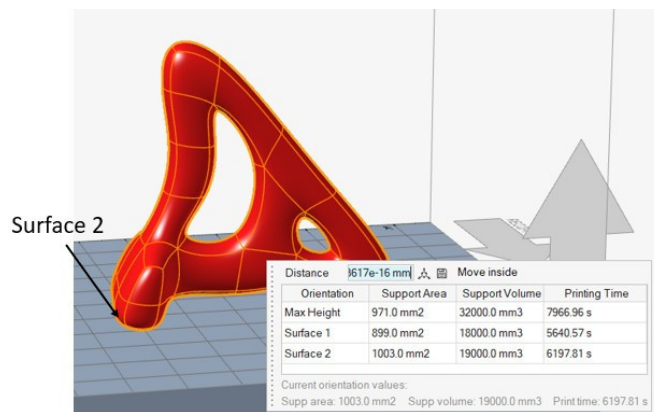
Hình 2. Hướng in Max Height

Hướng in Max Height trong in 3D là phương pháp in 3D mà tại đó mô hình được sắp xếp theo chiều dọc tối đa mà máy in có thể đạt được. Định nghĩa này tập trung vào việc tận dụng tối đa chiều cao trục Z của máy in 3D để tạo ra các vật thể với chiều cao lớn nhất có thể. Qua đó, hướng in Max Height không chỉ giúp phát huy tối đa năng lực tạo hình của máy in mà còn hỗ trợ gia công hiệu quả các sản phẩm có hình dáng phức tạp và chiều cao đáng kể một cách hiệu quả, góp phần nâng cao hiệu suất và chất lượng sản phẩm in.

### 3.2. Khảo sát, đánh giá hướng in Surface



Hình 3. Hướng in Surface 1



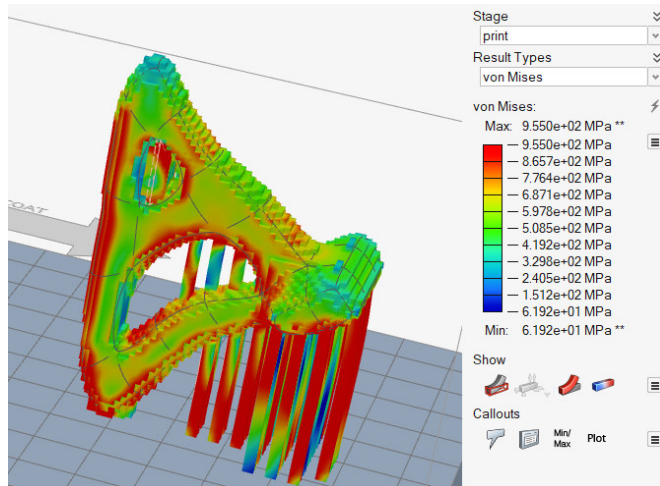
Hình 4. Hướng in Surface 2

Hướng in Surface trong in 3D là việc xác định và đặt mô hình 3D theo một hướng nhất định trên bàn in nhằm đạt được các mục tiêu in ấn như bề mặt mịn màng, độ bền cấu trúc cao, và giảm thiểu thời gian in và tiết kiệm vật liệu hỗ trợ (support). Việc lựa chọn hướng in Surface trong in 3D là một bước quan trọng trong quá trình tối ưu hóa quy trình in ấn. Bằng cách phân tích kỹ lưỡng và sử dụng các công cụ hỗ trợ, người thiết kế có thể cải thiện cao chất lượng bề mặt, độ bền cấu trúc, và tối ưu hiệu quả in của sản phẩm 3D.

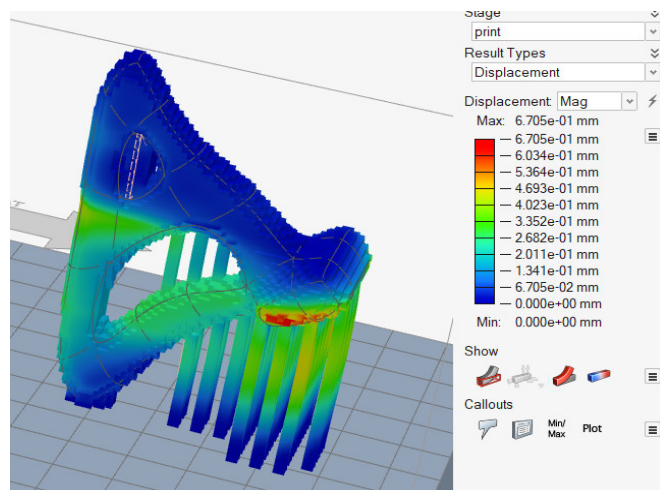
**4. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ**

Sau khi thực hiện nhập mô hình vào không gian mô phỏng của Altair Inspire, quá trình mô phỏng được tiến hành qua các bước: thiết lập mô hình, định hướng in, thiết lập thông số in và khởi chạy mô phỏng quá trình in. Sau khi hoàn tất, phần mềm cung cấp các kết quả bao gồm: biến dạng, chuyển vị và ứng suất của mô hình trong quá trình in 3D. Các thông số được thể hiện như sau.

**4.1. Hướng in Max Height**



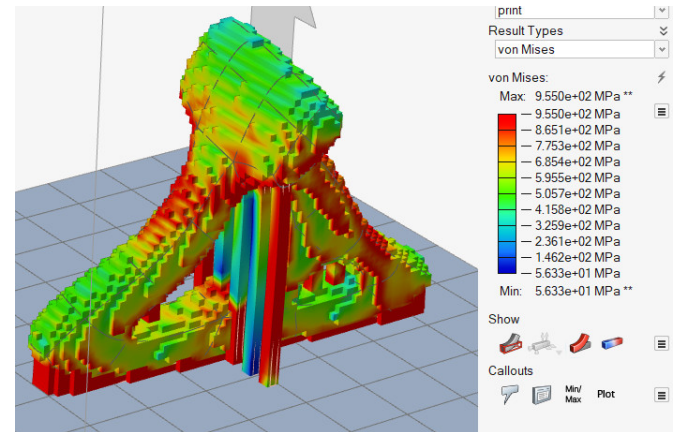
Hình 5. Ứng suất



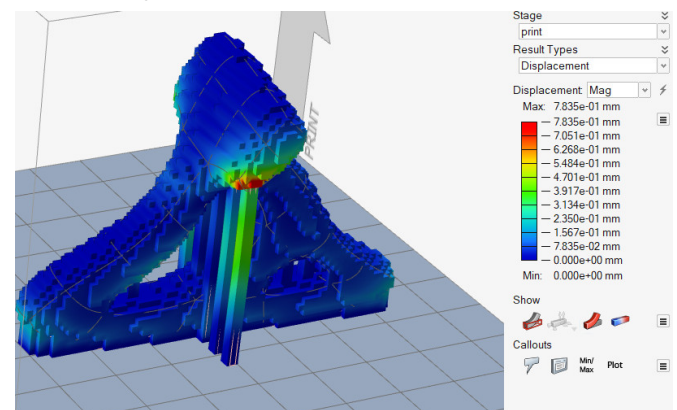
Hình 6. Chuyển vị

Kết quả mô phỏng cho thấy, chuyển vị tối đa đạt khoảng 0,6705mm, là giá trị thấp nhất trong ba phương pháp, phản ánh độ ổn định hình học tương đối cao trong suốt quá trình in. Vùng có chuyển vị lớn nhất tập trung ở đỉnh đầu mô hình, nơi chịu tác động cộng dồn của chiều cao in và trọng lượng phần trên. Về phân bố ứng suất, mô hình ghi nhận ứng suất tập trung rõ rệt tại phần thân giữa, đặc biệt quanh các cạnh gấp khúc, với giá trị tối đa khoảng 95,5MPa. Do cấu trúc dựng thẳng đứng, lượng vật liệu support cần sử dụng là lớn nhất, kéo dài toàn bộ chiều cao mô hình để nâng đỡ các bề mặt nghiêng và nhô ra. Điều này giúp giảm chuyển vị nhưng đồng thời làm tăng đáng kể vùng tiếp xúc support, ảnh hưởng đến hiệu quả tổng thể khi in. Từ mô phỏng có thể thấy, phương án Max Height mang lại độ cứng hình học tốt trong phân tích số, nhưng chi phí vật liệu và khả năng xuất hiện ứng suất nội bộ cao tại thân mô hình.

**4.2. Hướng in Surface 1**



Hình 7. Ứng suất

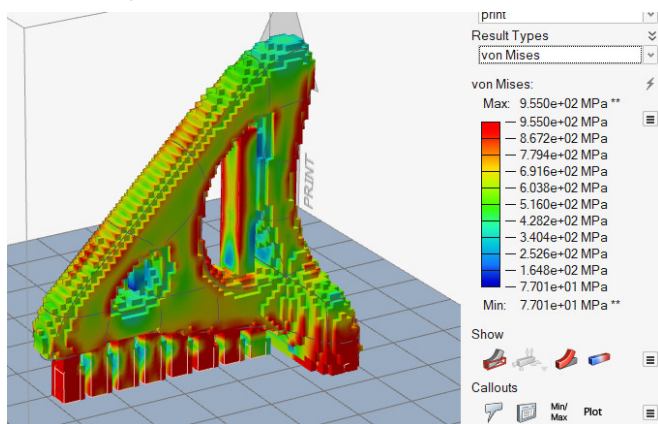


Hình 8. Chuyển vị

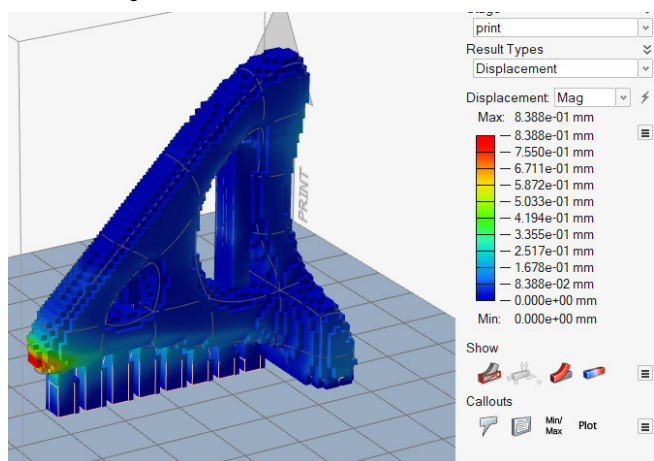
Ở phương án Surface 1, kết quả mô phỏng cho thấy chuyển vị tối đa đạt khoảng 0,7386mm, lớn hơn Max Height nhưng vẫn nằm trong phạm vi kiểm soát. Vùng chuyển vị lớn nhất xuất hiện tại phần đầu phía trên của mô hình, nơi có hình học vượt nhô ra khỏi mặt phẳng in và

được hỗ trợ bằng một lượng support hạn chế. Ứng suất lớn nhất, tương đương khoảng 95,5MPa, tập trung tại các vùng giao tiếp giữa các khối hình học với sự thay đổi tiết diện đáng kể, như khu vực tiếp nối giữa thân chính và phần đầu. So với Max Height, lượng support sử dụng trong Surface 1 đã được giảm đáng kể, phân bố tập trung tại một số vị trí cần thiết như bên dưới các phần vượt và trong các khoang rỗng. Tuy nhiên, do hỗ trợ không liên tục và không đối xứng, các vùng này vẫn phát sinh chuyển vị tương đối lớn. Phân tích cho thấy hướng in Surface 1 đạt được sự cân bằng giữa việc giảm khối lượng support và kiểm soát chuyển vị, tuy nhiên sự phân bố ứng suất vẫn tập trung tại các vùng có thay đổi hình học rõ rệt.

### 4.3. Hướng in Surface 2



Hình 9. Ứng suất



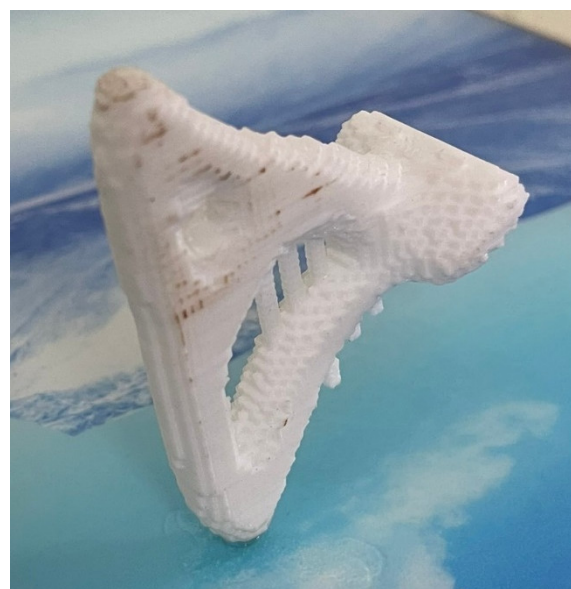
Hình 10. Chuyển vị

Mô phỏng theo hướng in Surface 2 cho thấy chuyển vị lớn nhất trong ba trường hợp, đạt khoảng 0,8388mm, chủ yếu tập trung ở vùng đầu cong và cạnh trên, nơi không có support trực tiếp nâng đỡ bên dưới. Mặc dù vậy, phân bố chuyển vị diễn ra khá mượt và lan tỏa, không xuất hiện biến dạng cục bộ đột ngột. Ứng suất lớn nhất vẫn duy trì ở mức khoảng 95,5MPa, nhưng vùng tập trung trải rộng tại phần tiếp giáp giữa thân và đầu cong, cho thấy lực

căng phân bố đều thay vì tập trung cục bộ. Về mặt cấu trúc support, phương pháp này sử dụng ít support nhất, chỉ xuất hiện ở các vùng hẫng dưới cùng hoặc các lỗ hờ bên trong. Mô hình cho thấy sự phân bố ứng suất và chuyển vị trong Surface 2 là đồng đều hơn, dù giá trị cực đại cao hơn, nhờ định hướng in phù hợp với sự phân bố trọng lực và dòng vật liệu nóng chảy. Điều này góp phần tối ưu khối lượng support và giảm thiểu nguy cơ tập trung ứng suất tại các vùng có thay đổi hình học đột ngột hoặc chịu tải không đồng đều.

### 5. THỬ NGHIỆM QUÁ TRÌNH IN VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Repetier-Host là một phần mềm điều khiển và hỗ trợ quá trình in 3D, cho phép người dùng nạp mô hình, thiết lập hướng in và cấu hình thông số in, thực hiện cắt lớp (slicing) và sinh mã lệnh G-code (mã lệnh điều khiển hành trình in 3D). Phần mềm cũng cung cấp giao diện trực quan để giám sát và điều chỉnh quá trình in, giúp nâng cao hiệu quả và chất lượng sản phẩm in. Sau khi thiết lập mô hình, hướng in và các thông số cần thiết, tiến hành cắt lớp và kiểm tra G-code, ta sẽ thu được kết quả in mô hình thực tế như hình 11 ÷ 13.



Hình 11. Hướng in Max Height

Với hướng in Max Height, mô hình được đặt theo phương dựng đứng, dẫn đến nhu cầu sử dụng support lớn, trải dài theo toàn bộ chiều cao của chi tiết. Việc cần in nhiều lớp support liên tục không chỉ làm tăng khối lượng vật liệu tiêu thụ, mà còn tạo ra các vùng tiếp xúc lớn giữa support và bề mặt chi tiết, gây ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt sau khi tháo bỏ support. Kết quả mẫu in thực tế cho thấy xuất hiện các vết hằn rõ, gợn bề mặt và biến dạng nhẹ, phản ánh đúng mô phỏng với ứng suất tập trung và chuyển vị tại vùng giữa thân chi tiết.



Hình 12. Hướng in Surface 1

Đối với hướng in Surface 1, lượng support đã được tối giản hơn nhờ định hướng giúp tăng diện tích tiếp xúc với bàn in. Tuy nhiên, vùng đầu nhô cao vẫn cần bố trí support cục bộ. Dù lượng vật liệu support giảm, nhưng chất lượng bề mặt tại các vùng in nghiêng vẫn kém, thể hiện qua mẫu in có vết lớp phân tầng rõ, bề mặt thô ráp và độ chính xác hình học thấp. Kết quả này cho thấy việc giảm support không đồng nghĩa với tăng chất lượng nếu hướng in chưa hợp lý về mặt cơ học.



Hình 13. Hướng in Surface 2

Trong khi đó, hướng in Surface 2 thể hiện sự cân bằng tốt giữa lượng support và chất lượng in. Dù lượng support vẫn được sử dụng tại các vùng hở bên dưới, nhưng được bố trí hiệu quả tại các vị trí cần thiết, giúp giảm thiểu ảnh hưởng đến bề mặt in. Mẫu in thực tế có bề mặt nhẵn, chi

tiết liền mạch và ít khuyết tật hơn hẳn hai trường hợp còn lại, cho thấy sự phù hợp giữa định hướng in và đặc điểm hình học của chi tiết. Kết quả mô phỏng cũng xác nhận rằng mặc dù chuyển vị tổng thể cao hơn, nhưng phân bố ứng suất đồng đều hơn và không có điểm tập trung ứng suất nghiêm trọng.

## 6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã cho thấy rằng hướng in 3D ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng bề mặt, độ chính xác hình học và hiệu quả sử dụng vật liệu trong quá trình in với vật liệu ABS. Qua quá trình mô phỏng và in thử nghiệm, ba phương pháp định hướng in khác nhau đã được so sánh. Hướng in Max Height tuy giúp giảm biến dạng nhưng tiêu tốn nhiều vật liệu support và gây ảnh hưởng đến độ chính xác. Hướng in Surface 1 cho phép sử dụng ít support hơn nhưng lại làm giảm đáng kể chất lượng bề mặt. Trong khi đó, hướng in Surface 2 - mặc dù có chuyển vị mô phỏng lớn hơn - đã cho kết quả in thực tế tốt nhất với bề mặt nhẵn và ít khuyết tật. Kết quả này khẳng định tầm quan trọng của việc lựa chọn hướng in phù hợp, và cho thấy rằng việc kết hợp mô phỏng trước in với thử nghiệm thực tế là cần thiết để tối ưu chất lượng sản phẩm in 3D.

Trong tương lai, nghiên cứu có thể được mở rộng bằng cách khảo sát thêm nhiều dạng hình học phức tạp hơn, sử dụng các vật liệu in khác nhau, cũng như tích hợp các thuật toán tối ưu hóa hướng in tự động nhằm nâng cao hiệu quả in và giảm thiểu tiêu hao vật liệu mà vẫn đảm bảo độ chính xác và chất lượng bề mặt của sản phẩm in 3D.

## LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải (ĐH GTVT) trong đề tài mã số T2025-CB-012.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. T. N. Hien, B. Van Hung, "Study on the design and manufacture of 3D-FDM Printer," *Vietnam Journal of Science and Technology*, 2016.
- [2]. D. Nagasai, M. Dwivedy, "Influence of printing orientation on properties of 3D-printed parts produced by polymer jetting technology," *Journal of Elastomers & Plastics*, 57, 2025. doi: 10.1177/00952443251317089.
- [3]. C. Goracci, C. Bosoni, P. Marti, N. Scotti, L. Franchi, A. Vichi, "Influence of Printing Orientation on Surface Roughness and Gloss of 3D Printed Resins for Orthodontic Devices," *Materials*, 18, 3, 2025. doi: 10.3390/ma18030523.
- [4]. I. Buj-Corral, A. Domínguez-Fernández, R. Durán-Llucà, "Influence of print orientation on surface roughness in fused deposition modeling (FDM) processes," *Materials*, 12, 23, 2019. doi: 10.3390/ma12233834.

- [5]. A. P. Golhin, R. Tonello, J. R. Frisvad, S. Grammatikos, A. Strandlie, *Surface roughness of as-printed polymers: A comprehensive review*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2023. doi: 10.1007/s00170-023-11566-z.
- [6]. M. M. Hanon, Y. Alshammas, L. Zsidai, "Effect of print orientation and bronze existence on tribological and mechanical properties of 3D-printed bronze/PLA composite," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108, 1-2, 553-570, 2020. doi: 10.1007/s00170-020-05391-x.
- [7]. O. Bouzagloul, O. Golan, N. Lachman, "Process Design and Parameters Interaction in Material Extrusion 3D Printing: A Review," *Polymers*, 15(10), 2280, 2023. doi: 10.3390/polym15102280.
- [8]. E. Wang, et al., "Investigation and Optimization of the Impact of Printing Orientation on Mechanical Properties of Resin Sample in the Low-Force Stereolithography Additive Manufacturing," *Materials*, 15, 19, 2022. doi: 10.3390/ma15196743.
- [9]. P. Turek, A. Bazan, M. Bulicz, "Effect of 3D Printing Orientation on the Accuracy and Surface Roughness of Polycarbonate Samples," *Machines*, 13, 1, 2025. doi: 10.3390/machines13010009.
- [10]. C. N. Van, A. Le Hoang, C. D. Long, D. N. Hoang, "Surface Roughness in Metal Material Extrusion 3D Printing: The Influence of Printing Orientation and the Development of a Predictive Model," *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 13, 5, 11672-11676, 2023. doi: 10.48084/etasr.6162.
- [11]. C. W. Hull, *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography*. US Patent 4,575,330, 1986.
- [12]. Wikipedia contributors, *Acrylonitrile butadiene styrene*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2025.

---

#### AUTHORS INFORMATION

**Luong Duc Chung<sup>1</sup>, Bui Van Hung<sup>2</sup>, Vu Quoc Huy<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Faculty of Basic Sciences, University of Transport and Communications, Vietnam

<sup>2</sup>Faculty of Mechanical Engineering, University of Transport and Communications, Vietnam