



ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ IN 3D TRONG KHÁM PHÁ CHỦ ĐỀ DIỆN TÍCH HÌNH PHẪNG

Nguyễn Đăng Minh Phúc¹, Nguyễn Văn Hiếu²

¹Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế, Số 34 Lê Lợi, TP Huế, Việt Nam

²Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh, Số 140 Lê Trọng Tấn, Tây Thạnh,

Tân Phú, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên hệ: Nguyễn Văn Hiếu <hieunvan@huit.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 05-07-2024; Ngày chấp nhận đăng: 07-10-2025)

Tóm tắt. Công nghệ in 3D đang ngày càng phổ biến và được ứng dụng thực tế trong nhiều lĩnh vực. Trong giáo dục, công nghệ in 3D có thể giúp nội dung bài học của các môn học nói chung và giúp môn toán nói riêng trở nên sinh động, trực quan. Nhờ sự hỗ trợ của công nghệ này, giảng viên có thể biến những nội dung kiến thức trừu tượng, khó hiểu trong toán học thành những kiến thức mà người học có thể tiếp thu tương đối dễ dàng thông qua các mô hình vật thật. Bài báo này trình bày ứng dụng công nghệ in 3D trong hỗ trợ dạy và học về chủ đề “Diện tích hình phẳng”. Kết quả nghiên cứu cho thấy, trong quá trình thực nghiệm sư phạm, sinh viên đã tham gia rất tích cực khi thực hiện các nhiệm vụ được giao như đo đạc, tính toán kết quả trên mẫu vật in 3D, qua đó họ phát hiện được đặc điểm, tính chất, để từ đó giải quyết được vấn đề. Đồng thời qua khảo sát, sinh viên cũng thấy được hình ảnh trực quan liên quan đến khái niệm tích phân – một khái niệm trừu tượng cao trong toán học.

Từ khóa: Công nghệ in 3D, hình phẳng, diện tích

APPLYING 3D PRINTING TECHNOLOGY IN EXPLORING TOPIC AREA OF FLAT SHAPE

Nguyen Dang Minh Phuc¹, Nguyen Van Hieu²

The University of Educations, Hue University, 32 Le Loi St., Hue, Vietnam

*Correspondence to Nguyễn Văn Hiếu <hieunvan@huit.edu.vn>

(Received: July 05, 2025; Accepted: October 07, 2025)

Abstract. 3D printing technology is becoming increasingly popular and is being practically applied in many fields. In education, 3D printing technology can make the content of subjects in general, and mathematics in particular, livelier and more intuitive. With the support of this technology, teachers can transform abstract, difficult-to-understand mathematical knowledge into content that learners can relatively easily grasp through real models. This paper presents the application of 3D printing technology in supporting the teaching and learning of the topic "Area of Flat Shapes". The research results show that during the pedagogical experiment, students actively participated in assigned tasks such as measuring and calculating results on 3D printed models, thereby discovering characteristics and properties to solve the problems. Additionally, through the exploration, students also gained a visual understanding related to the concept of integrals - a highly abstract concept in mathematics.

Keywords: 3D printing, flat shape, area

1. Giới thiệu

In 3D là công nghệ cho phép tạo ra các vật thể 3 chiều vật lý thông qua các phương pháp sản xuất bồi đắp (Additive Manufacturing) bắt đầu từ các mô hình kỹ thuật số (B. Redwood et al., 2017). Sự xuất hiện của công nghệ in 3D đang tạo ra cơ hội cho các phương pháp giảng dạy mới trong môn Toán, nhiều môn học khác, và môi trường giáo dục (Ford & Minshall, 2017; Dilling & Witzke, 2018). Toán học đòi hỏi trí tưởng tượng và tư duy trừu tượng, khiến những người mới bắt đầu tiếp xúc gặp khó khăn trong việc tiếp thu kiến thức ở lĩnh vực này (Skedsmo & Huber, 2019). Những tiến bộ liên tục trong các công nghệ như phần mềm in ấn và thiết kế 3D cũng như các quy trình sản xuất bồi đắp hiện nay cho phép người học nhìn thấy các khái niệm mô hình toán học trừu tượng theo ngữ cảnh và thực tế (Asempapa & Love, 2021). Trong giáo dục Toán học, in 3D là một cách sáng tạo để trực quan hóa các khái niệm toán học cho phép người học phát triển tư duy toán học và thiết kế, cũng như các kỹ năng và tư duy máy tính, đồng thời thông qua việc sử dụng mô hình toán học để mô tả các tình huống đặt ra trong các bài toán thực tiễn, giải quyết các vấn đề toán học, giúp sinh viên (SV) không những hiểu được các kiến thức toán học, thấy được mối quan hệ giữa toán học với thực tiễn mà còn hình thành và phát triển năng lực mô hình hóa cho SV (Akyol et al., 2022). Bên cạnh đó, sự hiểu biết về thiết kế mô hình kỹ thuật số giúp SV có thể áp dụng kiến thức đa ngành để xây dựng các nguyên mẫu và có thể tạo ra các vật thể 3D; từ đó làm giảm bớt khó khăn do tính trừu tượng cao của Toán trong dạy học. Do đó, chúng ta có thể thấy rằng in 3D không chỉ nâng cao hiểu biết toán học của SV mà còn là một công cụ mạnh mẽ để kích thích khả năng sáng tạo và phát triển cho SV (Dilling & Witzke, 2020).

Việc tính diện tích của các hình quen thuộc, chẳng hạn như đa giác thì SV đều có thể thực hiện được thông qua các công thức đã được học. Tuy nhiên, khi tính diện tích của miền không phải là miền đa giác thì là điều không đơn giản đối với SV, đặc biệt là khi thực hiện các thao tác tư duy cụ thể hoá, trừu tượng hoá. Việc dạy và học nội dung này ở chương trình toán lớp dưới vốn đã gặp rất nhiều khó khăn bởi nhiều nguyên nhân, một trong số đó có yếu tố "trực quan và

thực tế” trong các sách giáo khoa đang còn thiếu (Airish & Marvin, 2023). Khi học nội dung này nhìn chung SV thường vận dụng công thức một cách máy móc để tính diện tích hình phẳng chứ chưa có sự phân tích, thiếu tư duy trực quan nên thường SV không làm được hoặc có làm được thì hay bị nhầm lẫn, đặc biệt là những bài toán cần phải chia nhỏ miền hình phẳng thành nhiều phần thì mới tính được diện tích từng phần và tiến tới diện tích tổng thể.

Chúng ta điều đã biết, toán học bắt nguồn từ thực tiễn. Một vấn đề đặt ra là làm thế nào để tăng sự trực quan sinh động, hỗ trợ trí tưởng tượng, tạo hứng khởi, kích thích tính sáng tạo cho SV để tiết học về tích phân và tính diện tích hình phẳng đạt kết quả cao nhất và nội dung này không còn là nỗi sợ hãi của các SV. Mục đích của nghiên cứu này là sử dụng công nghệ in 3D để thiết kế các mô hình hỗ trợ cho SV trong học tập chủ đề Ứng dụng tích phân để tính diện tích hình phẳng. Qua đó, chúng tôi đánh giá năng lực giải quyết vấn đề và năng lực sử dụng công cụ và phương tiện học toán của SV khi họ học chủ đề này với các mô hình in 3D. Nghiên cứu sẽ nhằm trả lời hai câu hỏi sau đây: (1) Công nghệ in 3D có những tiềm năng nào trong hỗ trợ dạy học chủ đề tính diện tích hình phẳng cho SV năm đầu đại học? và (2) SV đã thể hiện năng lực giải quyết vấn đề như thế nào khi làm việc với các mô hình in 3D trong chủ đề tính diện tích hình phẳng?

2. Khung lý thuyết

2.1. Sơ lược về công nghệ in 3D

Công nghệ in 3D, còn được gọi là sản xuất đắp dần, đề cập đến các quy trình được sử dụng để tạo ra một đối tượng ba chiều bằng cách đắp vật liệu từng lớp từng lớp dựa trên mô hình kỹ thuật số (B. Redwood et al., 2017). Nó xây dựng các đối tượng bằng cách thêm dần dần vật liệu thay vì loại bỏ vật liệu như trong sản xuất truyền thống (đục đẽo, cắt CNC). Đây là lý do tại sao nó được gọi là "sản xuất đắp dần". Mô hình kỹ thuật số được tạo ra bằng phần mềm mô hình 3D hoặc quét hình ảnh 3 chiều từ một đối tượng có sẵn. Mô hình này sau đó được cắt thành các lớp (bởi các phần mềm cắt lớp như Ultimaker Cura hoặc OrcaSlicer) và gửi đến máy in. Máy in 3D đọc từng lát cắt và đắp vật liệu, thường là sợi nhựa hoặc kim loại, từng lớp để xây dựng đối tượng từ dưới lên trên. Có nhiều phương pháp in 3D khác nhau như mô hình hóa lắng đọng nóng chảy (FDM), in nổi lập thể (SLA), thiêu kết laser chọn lọc (SLS). Mỗi phương pháp sử dụng một kỹ thuật khác nhau để đắp các lớp. In 3D cho phép tạo ra các hình dạng phức tạp với các cấu trúc và khoang bên trong, mà sẽ rất khó hoặc không thể, với các phương pháp truyền thống.

Trong số các công nghệ này, FDM là một trong những công nghệ in 3D được sử dụng và nghiên cứu rộng rãi nhất, đặc biệt là cho các máy in 3D để bàn. Các vật liệu nhựa như PLA, ABS, PETG và thậm chí nylon có thể được sử dụng (Shahrubudina et al., 2019). In 3D có nhiều ưu điểm so với các phương pháp truyền thống. Với công nghệ này, một ý tưởng từ nhà thiết kế giáo dục có thể nhanh chóng chuyển từ một tệp trên máy tính của nhà thiết kế thành một đối

tượng hoặc sản phẩm hoàn chỉnh, bỏ qua được nhiều bước sản xuất truyền thống. Một lợi thế khác của công nghệ in 3D là tạo mẫu nhanh. Công nghệ này có ưu thế về thời gian cần thiết để sản xuất một sản phẩm hoàn chỉnh. "Nhanh" ở đây vẫn là một nhìn nhận tương đối. Thông thường, cần từ 1 đến 72 giờ để tạo ra một sản phẩm mới, tùy thuộc vào kích thước và độ phức tạp của sản phẩm. Khoảng thời gian này có vẻ chậm, nhưng so với thời gian các công nghệ sản xuất truyền thống thường mất từ vài tuần đến vài tháng để sản xuất một sản phẩm, thì nó nhanh hơn nhiều. Vì cần ít thời gian hơn để tạo ra sản phẩm, các công ty sản xuất có thể tiết kiệm chi phí và nhanh chóng đưa sản phẩm mới ra thị trường. Một lợi thế khác của công nghệ in 3D là nó có thể sản xuất một đối tượng với các bộ phận bên trong và bên ngoài hoàn chỉnh chỉ trong một lần chạy, điều mà các phương pháp truyền thống khó có thể thực hiện.

2.2. Công nghệ in 3D trong giáo dục Toán

Công nghệ in 3D có những ứng dụng thực tiễn trong giáo dục, đặc biệt liên quan đến các môn học STEM (khoa học, công nghệ, kỹ thuật và toán học). Người học có thể hoàn toàn thiết kế và chế tạo sản phẩm trong lớp học và có cơ hội thử nghiệm ý tưởng, học qua việc làm với máy in 3D (Ford & Minshall, 2017; Huleihil, 2017). Người học cũng được tiếp xúc sớm với khái niệm về công nghệ in, từ đó hiểu sâu hơn về nội dung của các khóa học kỹ thuật (Novak & Wisdom, 2020). Đối với giáo viên, các mô hình vật thể 3D tự sản xuất sẽ phù hợp hơn với mục tiêu học tập, giúp người học hình dung các khái niệm hoặc tiến hành thí nghiệm ngay trong lớp học. Ở Hoa Kỳ và Trung Quốc, các kế hoạch đưa công nghệ và máy in 3D vào trường học, thậm chí cho trẻ em tiểu học, đã bắt đầu được triển khai (Ha & Fang, 2013). Theo Skedsmo & Huber (2019), có hai mô hình tích hợp công nghệ in 3D vào giáo dục: (1) Mô hình từ trên xuống: Xem xét toàn diện toàn bộ hệ thống giáo dục, sau đó nghiên cứu các giải pháp tổng thể và triển khai các ứng dụng rộng rãi; (2) Mô hình từ dưới lên: Tìm kiếm các giải pháp từng phần, sau đó nghiên cứu toàn bộ và triển khai các ứng dụng rộng rãi.

Huleihil (2017) tin rằng công nghệ in 3D có thể được xem là một công cụ để nâng cao chất lượng dạy hình học ở trường trung học cơ sở. Mô hình cho một hoạt động điển hình thường bao gồm 3 bước, 3 đơn vị dạy học: thiết kế trên giấy, thiết kế bằng phần mềm CAD, và sản xuất mô hình 3D. Công nghệ in 3D cho phép người dùng tạo ra một đối tượng vật lý từ một đối tượng ảo, trong khi các mô hình in 3D là những vật thể cụ thể có thể chạm vào và kiểm tra thử nghiệm theo cách định tính (Dilling & Witzke, 2020). Trong nghiên cứu của Novak & Wisdom (2020), người học đã gặp phải những thách thức khi học và sử dụng phần mềm TinkerCAD để thiết kế các mô hình in 3D. Một số người học chia sẻ rằng họ cảm thấy bị hạn chế bởi các hình dạng nguyên thủy có sẵn trong phần mềm, tuy nhiên họ đều hài lòng với việc học cách sử dụng chúng để tạo ra sản phẩm cũng như để giảng dạy (Akyol et al., 2022). Theo Ha & Fang (2013), có nhiều cách để áp dụng in 3D trong giảng dạy toán học trên các nội dung khác nhau. Một trong những cách phổ biến nhất là sử dụng in 3D để giúp học sinh hình dung các đồ thị và mô hình toán học, dễ dàng nhận ra các phương trình, đồ thị và mô hình toán học được hiện thực

hóa theo cách cụ thể, có thể chạm vào được (Asempapa & Love, 2021). Mặt khác, công nghệ in 3D thổi một luồng "không khí mới" vào các chủ đề khô khan, nhàm chán và trừu tượng cao trong toán học (Ha & Fang, 2013; Halverscheid & Labs, 2019). Halverscheid & Labs (2019) nhận thấy rằng việc tạo ra các mô hình hình ảnh toán học có thể là một công cụ tích cực trong quá trình giảng dạy toán học, đặc biệt là trong giai đoạn hình thành khái niệm. Bằng cách xây dựng các đối tượng trên máy tính, học sinh có thể áp dụng kiến thức đã học trước đó và làm việc với độ chính xác cao. Do đó, các ý tưởng có thể làm phong phú thêm quá trình giảng dạy toán học một cách ý nghĩa. Theo Dilling và Witzke (2018), khi chạm vào mô hình vật thể 3D bằng đầu ngón tay, học sinh có thể "cảm nhận sự liên tục của đồ thị như là một sự liên tục động". Độ dốc của đồ thị thay đổi có thể được cảm nhận bằng cách trượt dọc theo mô hình với ngón tay duỗi thẳng. Cách tiếp cận này đặc biệt thúc đẩy sự hiểu biết về đạo hàm như là hệ số góc của các đường tiếp tuyến.

2.3. Chủ đề diện tích hình phẳng trong chương trình toán

Nội dung về nguyên hàm – tích phân là một nội dung quan trọng trong chương trình môn Toán ở cấp trung học phổ thông, toán cao cấp ở các trường cao đẳng, đại học và cả các sách về Giải tích (Calculus) của các tác giả trên thế giới. Tuy nhiên, nội dung lý thuyết và bài tập của chương nguyên hàm – tích phân được thiết kế có sự khác nhau ở các bộ sách này.

Ở Trường Đại học Công Thương, Thành phố Hồ Chí Minh, SV khoa Công nghệ Thực phẩm sẽ học 1 môn Toán bắt buộc ở chương trình đại cương là môn Giải tích, trong đó Phép tính tích phân hàm một biến là 1 chương trong đề cương môn học này, tài liệu tham khảo chính cho môn này là "Giáo trình Toán cao cấp A1" do tác giả Nguyễn Văn Ý chủ biên, đây là tài liệu lưu hành nội bộ của trường. Với tinh thần tăng cường tính thực tiễn khi giảng dạy Toán cao cấp, nên chương Phép tính tích phân hàm một biến trong quyển giáo trình này cũng được biên soạn theo xu thế trên và tác giả cũng đưa nhiều ứng dụng của tích phân trong thực tế; cụ thể chương này của giáo trình trình bày định nghĩa, tính chất của nguyên hàm – tích phân; phương pháp đổi biến số, phương pháp tích phân từng phần và kỹ thuật tính nguyên hàm – tích phân đối với hàm hữu tỷ, hàm vô tỷ, hàm lượng giác; ứng dụng của tích phân; tích phân suy rộng. Trong phần ứng dụng của tích phân, giáo trình này trình bày ứng dụng tích phân trong việc tính diện tích hình phẳng, thể tích vật tròn xoay, độ dài đường cong phẳng, diện tích mặt tròn xoay, công sinh ra bởi lực tác động làm vật chuyển động, vận tốc và sự thay đổi vị trí, lực của áp suất chất lỏng, đồng thời giáo trình cũng cung cấp nhiều ví dụ và bài tập về tích phân liên quan đến các lĩnh vực như vật lý, hóa học, kỹ thuật. So với chương nguyên hàm – tích phân trong chương trình GDPT 2018 thì nội dung lý thuyết và bài tập trong quyển giáo trình này được trình bày rộng và phức tạp hơn, đòi hỏi sự hiểu biết sâu rộng về lý thuyết và khả năng áp dụng linh hoạt.

Chúng ta thấy, cho dù ở bậc học nào thì chủ đề “Tính diện tích hình phẳng” là một kiến thức không thể thiếu trong mô đun kiến thức về nguyên hàm – tích phân và nó có rất nhiều ứng dụng trong thực tế. Đối với dạng toán này, chúng ta thường gặp bài toán yêu cầu tính diện tích hình phẳng của miền giới hạn bởi các đường, trong đó miền giới hạn thường được cho dưới dạng là phần giới hạn bởi một đường cong và các đường thẳng hoặc hai hay nhiều đường cong. Với việc thay đổi từ dạy học theo định hướng nội dung sang định hướng năng lực, cũng đã có những thay đổi tương ứng trong đánh giá năng lực người học, thể hiện ở những biểu hiện cụ thể của các năng lực thành phần của năng lực toán học.

2.4. Các năng lực toán học và đánh giá

Trong PISA 2022 (OECD, 2023), định nghĩa về năng lực toán học nhấn mạnh vào mối quan hệ giữa suy luận toán học và quy trình giải quyết vấn đề (mô hình hóa). Khung PISA nhấn mạnh ba quá trình: hình thức hóa (formulating), sử dụng (employing) và diễn giải (interpreting). Quá trình sử dụng bao gồm việc sử dụng các công cụ toán học. Những công cụ này gồm các loại thiết bị vật lý và kỹ thuật số khác nhau và các thiết bị tính toán cầm tay. Trong số đó, các công cụ toán học dựa trên máy tính (các biểu diễn toán học trên phần mềm hình học động) được sử dụng rộng rãi và được đề cập nhiều trong khung chương trình toán học phổ thông hiện nay. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đánh giá năng lực giải quyết vấn đề bằng các công cụ hỗ trợ học toán là các mô hình in 3D. Năng lực của SV trong việc sử dụng công cụ trong trường hợp này được thể hiện qua kiến thức của họ về việc sử dụng các công cụ học toán để hiểu cấu trúc, đặc điểm và tìm mối quan hệ giữa các đối tượng toán học. Dựa trên ý tưởng về năng lực của PISA, chúng tôi đã xây dựng các cấp độ đánh giá năng lực sử dụng công cụ trong học toán cho nghiên cứu này. Để dễ dàng phân tích dữ liệu, chúng tôi mã hóa các cấp độ này với chữ **M** ở đầu.

Trong mô hình KSAVE (Knowledge – Kiến thức, Skills – Kỹ năng, Attitudes – Thái độ, Values – Giá trị và Ethics – Đạo đức) của Griffin et al. (2012), giải quyết vấn đề được mô tả là một hoạt động trong đó người học nhận thức được sự khác biệt giữa trạng thái hiện tại và trạng thái mục tiêu mong muốn, nhận ra rằng sự khác biệt này không có giải pháp rõ ràng hoặc dễ dàng, và sau đó cố gắng hành động theo một phương án nhất định để đạt được trạng thái mục tiêu đó. Điều này bao gồm một số quá trình trí tuệ và hành vi có thể không nhất thiết phải diễn ra theo thứ tự tuần tự mà có thể xảy ra song song. Một cách tiếp cận để khái niệm hóa năng lực giải quyết vấn đề này đã được PISA 2022 áp dụng trong khuôn khổ của năng lực giải quyết vấn đề. Chúng tôi đã xây dựng các cấp độ đánh giá năng lực giải quyết vấn đề của SV. Tương tự, các cấp độ này cũng được mã hóa bằng chữ **P**.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Quy trình thực nghiệm

Để có dữ liệu trả lời cho câu hỏi nghiên cứu thứ nhất, chúng tôi thiết kế 5 mô hình rồi tích hợp với 3 phiếu học tập để phát cho SV. Các mô hình 3D này chủ yếu được chúng tôi thiết kế trên các phần mềm Geogebra & BlocksCAD. Để có dữ liệu trả lời cho câu hỏi nghiên cứu thứ hai, chúng tôi đã tiến hành 1 buổi thực nghiệm với thời gian 90 phút với thiết kế 6 nhiệm vụ Toán chia làm nhiều hoạt động nhỏ, lấy kết quả thực nghiệm từ 6 nhóm với 30 sinh viên năm thứ 1, học kỳ 1, năm học 2023-2024. Để SV hiểu rõ hơn về nhiệm vụ cần thực hiện, chúng tôi sẽ giới thiệu trước về 5 mô hình, đồng thời cho SV quan sát và trực tiếp tiếp xúc với chúng. Tiếp đó, phiếu học tập sẽ được phát kèm theo hướng dẫn chi tiết về yêu cầu từng nhóm cần hoàn thành. Sau khi hoàn tất nhiệm vụ, SV sẽ nhận phiếu điều tra để phản hồi. Trong suốt quá trình làm việc nhóm, chúng tôi quan sát và ghi âm quá trình trao đổi của SV. Cuối cùng, chúng tôi thu lại toàn bộ phiếu học tập từ các nhóm và phiếu điều tra từ SV.

3.2. Công cụ nghiên cứu

Công cụ nghiên cứu bao gồm 5 mô hình 3D được thiết kế và in sẵn (viết tắt MH1, MH2, MH3, MH4 và MH5), phiếu học tập, phiếu điều tra, phiếu khảo sát về vai trò in 3D trong dạy học toán, máy tính cầm tay và thước đo. Trong khuôn khổ bài báo này, chúng tôi chỉ trình bày ba bài toán trong ba phiếu học tập liên quan đến việc tính diện tích hình phẳng.

Bài toán 1. Tính diện tích hình phẳng với miền hình phẳng giới hạn là hình thang

Cho một miền phẳng được tạo thành giới hạn bởi 4 đường thẳng, trong đó có 2 đường thẳng song song.



Hình 1. MH1 là hình thang cân

Yêu cầu các nhóm thực hiện các nhiệm vụ sau:

Nhiệm vụ 1. Xác định hàm số biểu diễn các cạnh của miền hình phẳng.

- **Bước 1.** Xem xét về vị trí tương đối của 2 đường thẳng trong không gian?
- **Bước 2.** Sử dụng thước đo khoảng cách giữa 2 đáy của hình thang, xác định được các điểm mà đường thẳng chứa 2 cạnh bên của hình thang đi qua.

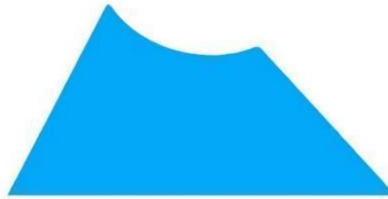
- **Bước 3.** Từ mô hình thực tế, các em quan sát rồi từ đó xác định phương trình của đường thẳng chứa hai đáy và các cạnh bên của hình thang trên.

Nhiệm vụ 2. Tính diện tích hình phẳng giới hạn bởi miền hình phẳng trên.

Chúng tôi lựa chọn hình thang vì đây là một hình học đơn giản, có thể dễ dàng quan sát và đo lường trên mô hình thực tế. Yêu cầu xác định phương trình đường thẳng giúp SV kết nối hình học với đại số, làm quen với các phương pháp thiết lập mô hình toán học.

Bài toán 2. Tính diện tích hình phẳng với miền hình phẳng là hình thang cong

Cho một miền hình phẳng được tạo thành là hình thang cong giới hạn bởi 3 đường thẳng và 1 Parabol.



Hình 2. MH2 tạo bởi các đường thẳng và đường bậc 2

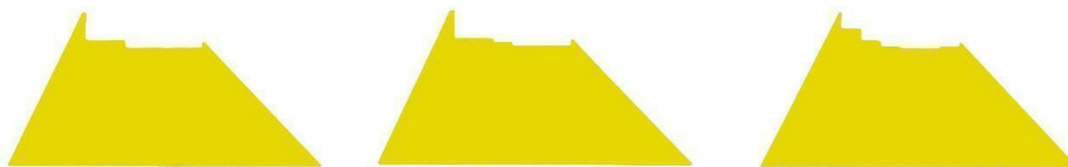
Yêu cầu các nhóm thực hiện các nhiệm vụ sau:

Nhiệm vụ 1. Xác định các hàm số biểu diễn các đường cong giới hạn miền hình phẳng của MH2.

- **Bước 1.** Sử dụng thước đo xác định được các điểm mà các đường cong giới hạn miền hình phẳng đi qua.
- **Bước 2.** Từ mô hình thực tế, SV quan sát rồi từ đó xác định phương trình các đường cong giới hạn miền hình phẳng trên.
- **Bước 3.** Xác định công thức tính diện tích hình phẳng.

Nhiệm vụ 2. Tính diện tích hình phẳng.

Việc thay thế một cạnh thẳng bằng một phần đường Parabol làm bài toán trở nên thú vị hơn, nhưng cũng làm tăng mức độ phức tạp của bài toán tính diện tích, đòi hỏi SV phải mở rộng tư duy hơn. Sự có mặt của mô hình in 3D giúp người học hình dung trực tiếp đường cong, từ đó dễ dàng xác định phương trình Parabol dựa trên quan sát & tìm kiếm tọa độ các điểm mẫu chốt. Bài toán này tạo ra bước chuyển từ hình học đơn giản sang tư duy toán học cao cấp hơn, chuẩn bị cho việc ứng dụng giải tích vào các bài toán thực tế.

Bài toán 3. Tính diện tích hình phẳng với miền bao gồm các tam giác và hình chữ nhật**Hình 3. MH3, MH4, MH5 tạo bởi các tam giác và các hình chữ nhật**

Nhiệm vụ 1. Xác định hàm số biểu diễn các cạnh của miền hình phẳng của MH3, MH4, MH5 và tính diện tích của MH3, MH4, MH5.

- **Bước 1.** Sử dụng thước đo chiều dài và chiều rộng của các hình chữ nhật.
- **Bước 2.** Xem xét về vị trí tương đối của 2 đường thẳng trong không gian?
- **Bước 3.** Từ mô hình thực tế, các em quan sát rồi từ đó xác định phương trình của đường thẳng chứa các cạnh của các hình chữ nhật.
- **Bước 4.** Tính diện tích hình phẳng giới hạn bởi miền hình phẳng của MH3, MH4, MH5.

Nhiệm vụ 2. Dựa vào diện tích của MH3, MH4, MH5. Hãy nhận xét về mức độ sai khác của diện tích các mô hình này so với MH2 khi số hình chữ nhật trong phân hoạch tăng lên.

Bài toán này được thiết kế nhằm giúp SV hiểu về quá trình xấp xỉ diện tích một hình dạng thang cong bằng cách sử dụng các phân hoạch hình chữ nhật. Việc gia tăng số lượng hình chữ nhật giúp minh họa nguyên lý của tích phân một cách trực quan, tạo nền tảng cho việc hiểu về giới hạn và độ chính xác của phương pháp xấp xỉ.

3.3. Thu thập và phân tích dữ liệu

Chúng tôi tiến hành thu thập dữ liệu từ quá trình thực nghiệm để phân tích, làm cơ sở cho việc trả lời các câu hỏi nghiên cứu.

3.3.1. Thu thập dữ liệu

Từ việc tìm kiếm, chọn lọc, phân tích và tổng hợp các kết quả nghiên cứu, chúng tôi thu được những phát biểu về tiềm năng của việc sử dụng công nghệ in 3D, đặc biệt ứng với dạy học chủ đề diện tích hình phẳng. Đối với dữ liệu từ thực nghiệm trên SV, chúng tôi thu thập các phiếu học tập của các nhóm, phiếu điều tra từng SV, phiếu câu hỏi khảo sát và ghi âm quá trình làm việc nhóm.

3.3.2. Phân tích dữ liệu

Theo Chương trình Đánh giá Học sinh Quốc tế (PISA) do OECD tổ chức, năng lực giải quyết vấn đề được định nghĩa là: “Khả năng cá nhân tham gia vào quá trình nhận biết, hiểu và giải quyết các tình huống có vấn đề mà không có một giải pháp ngay lập tức, rõ ràng. Điều này

đòi hỏi cá nhân phải sử dụng kỹ năng tư duy và lập luận logic để phân tích thông tin, xây dựng chiến lược, thực hiện giải pháp và đánh giá kết quả”.

PISA phân loại năng lực giải quyết vấn đề theo các cấp độ khác nhau, từ đơn giản đến phức tạp, dựa trên mức độ tư duy cần thiết. Các kỹ năng cốt lõi của năng lực này bao gồm:

- Nhận diện và hiểu vấn đề.
- Lập kế hoạch và thực hiện giải pháp.
- Giám sát và đánh giá giải pháp.

Năng lực giải quyết vấn đề theo PISA không chỉ liên quan đến môn Toán mà còn được đánh giá trong nhiều lĩnh vực khác như: khoa học, đọc hiểu, và thậm chí trong các tình huống thực tiễn của cuộc sống.

Thông qua việc thể hiện của SV trên các phiếu học tập, chúng tôi phân tích dữ liệu này theo hướng tập trung vào quá trình giải quyết vấn đề (GQVĐ), xem xét trong quá trình SV GQVĐ gặp phải. Dựa theo Griffin et al. (2012) và OECD (2023), chúng tôi đưa ra các cấp độ GQVĐ như Bảng 1.

Bảng 1. Các cấp độ giải quyết vấn đề

Cấp độ	Giải nghĩa
P0	SV không thực hiện được các yêu cầu trên phiếu học tập hoặc có viết ra một số ý nhưng chưa đúng.
P1	SV chỉ trả lời được một số nhận xét cơ bản về mô hình.
P2	SV viết ra được các nhận xét về mô hình, dự đoán được dạng của hàm số biểu diễn các đường cong giới hạn miền hình phẳng.
P3	SV xác định được đồ thị hàm số và tính được diện tích hình phẳng nhưng kết quả tính chưa đúng, trình bày chưa đủ.
P4	SV thực hành tính diện tích hình phẳng cho kết quả đúng và trình bày đầy đủ.

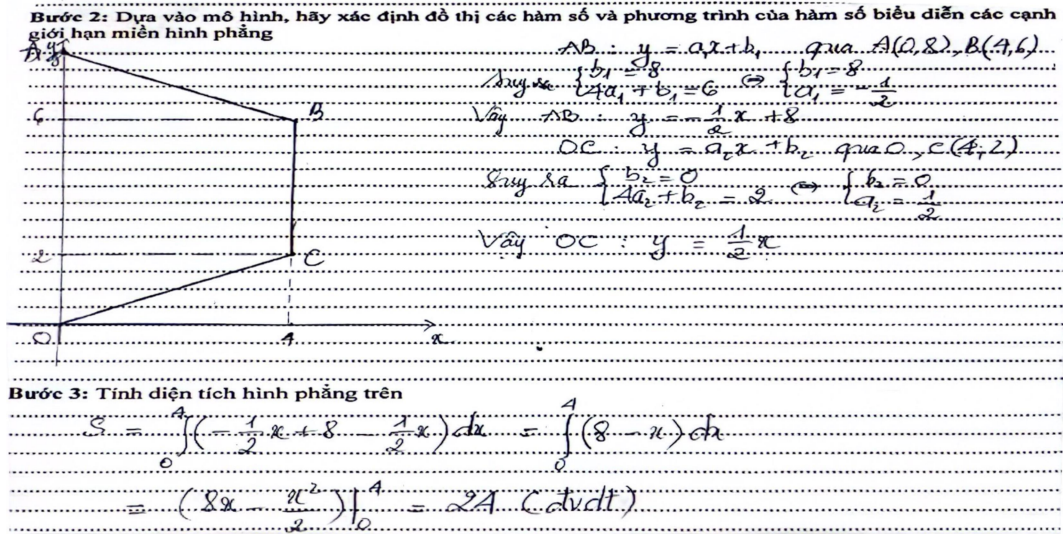
4. Kết quả nghiên cứu

Chúng tôi đánh giá các kết quả thực nghiệm nhằm trả lời các câu hỏi nghiên cứu.

4.1. Đánh giá các nhiệm vụ

4.1.1. Nhiệm vụ 1

Mặc dù đối tượng là SV đại học, nhưng đây là lớp có điểm chuẩn đầu vào thấp nhất của nhà trường nên khi thực hiện các yêu cầu trên phiếu học tập, chúng tôi thấy các em cũng rất lúng túng, không biết bắt đầu thế nào để có thể xác định được phương trình biểu diễn các cạnh của hình thang. Dưới sự hỗ trợ của giảng viên (GV), SV mới biết cách gắn hệ trục tọa độ vào hình biểu diễn. Từ đó, các nhóm đưa ra được dự đoán và xác định phương trình biểu diễn các cạnh của hình thang thông qua đo đạc các thông số trên mô hình. Cụ thể, nhóm 4 đã minh họa được mô hình lên hệ trục tọa độ Oxy , xác định phương trình đường thẳng biểu diễn các cạnh của hình thang và thực hiện được nhiệm vụ tính diện tích miền hình phẳng như sau:

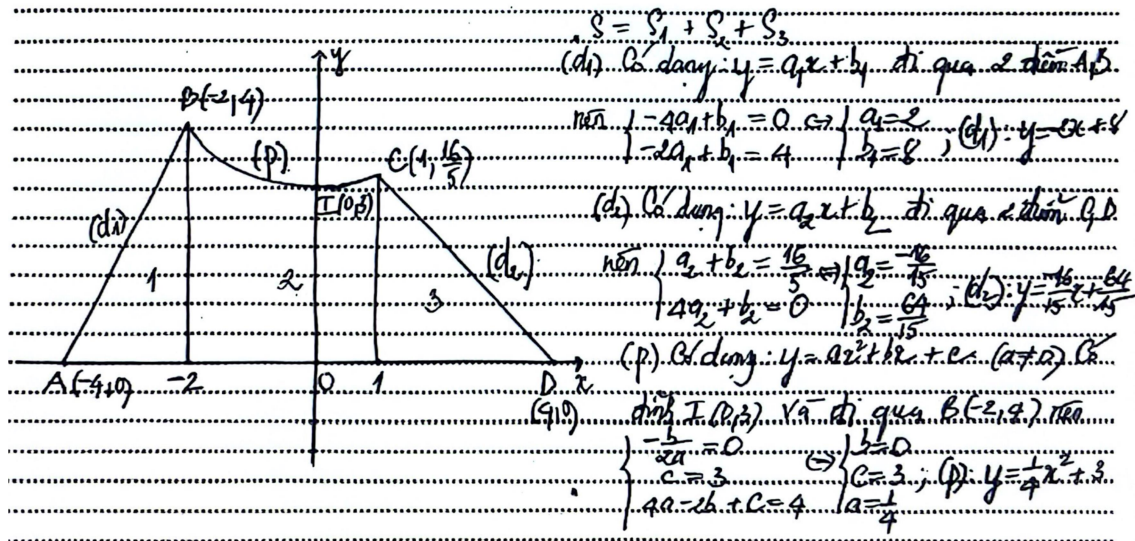


Hình 4. Vẽ hình, tìm các đường thẳng phù hợp và tính diện tích

Dựa trên quá trình quan sát việc thực hiện nhiệm vụ và phân tích bài làm trên phiếu học tập của từng nhóm, chúng tôi nhận thấy SV đã từng bước hoàn thành các yêu cầu đề ra. Khi xác định phương trình biểu diễn cho các cạnh, các nhóm đã thử nghiệm với nhiều cặp điểm khác nhau và đối chiếu kết quả với nhóm khác để kiểm chứng tính chính xác. Sau khi thu thập đầy đủ thông tin về phương trình biểu diễn các cạnh và các cận của tích phân, SV tiếp tục áp dụng tích phân để tính diện tích. Trong bài toán này, có 4 nhóm đạt mức độ giải quyết vấn đề P4.

4.1.2. Nhiệm vụ 2

Thông qua bài toán 1 thì SV cũng đã phần nào nắm được cách để thực hiện nhiệm vụ. Nhưng với bài toán này, SV phải thực hiện nhiệm vụ trên mô hình phức tạp hơn vì phương trình hàm số biểu diễn xuất hiện dạng đường Parabol. Ban đầu SV rất khó khăn trong việc đưa ra hướng xử lý nhưng từ từ các SV đã thảo luận và các nhóm cũng có được ý tưởng để thực hiện nhiệm vụ. Các nhóm đã biết chia nhỏ hình thang cong ra để tính diện tích. SV đã vẽ lại hình trên phiếu học tập và biết cách gắn hệ trục tọa độ Oxy vào hình vẽ để tìm các giả thiết cần thiết. Sau quá trình hoạt động nhóm, kết quả của nhóm 3 như sau:



Hình 5. Vẽ hình, xác định cách tính và tìm các phương trình biểu diễn cho các đường

Từ các yếu tố đã xác định được, diện tích hình phẳng đã cho bằng tổng diện tích miền hình phẳng (1), miền hình phẳng (2) và miền hình phẳng (3). Cụ thể:

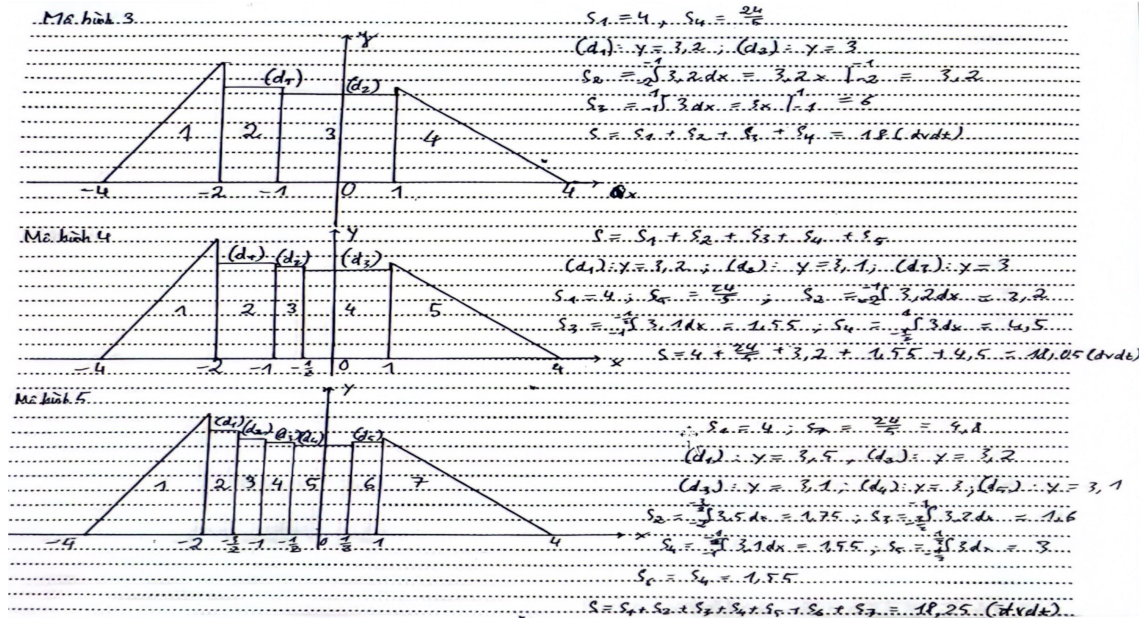
$$S_1 = \int_{-4}^{-2} (2x + 8)dx = 4, S_2 = \int_{-2}^1 \left(\frac{1}{4}x^2 + 3\right)dx = \frac{39}{4} \text{ và } S_3 = \int_1^4 \left(-\frac{16}{15}x + \frac{64}{15}\right)dx = \frac{24}{5}$$

Do đó, $S = S_1 + S_2 + S_3 = \frac{371}{20} = 18,55$ (đvdt)

Sau với bài toán 1 thì các SV đã thao tác tốt hơn việc xác định các điểm mà các đường biểu diễn đi qua sau khi các em đã gắn được hệ trục tọa độ vào hình vẽ biểu diễn của mô hình, đồng thời SV cũng đã xác định được các thông số cần thiết để ứng dụng tích phân vào tính diện tích hình phẳng. Trong bài toán này, nhóm 3 và nhóm 5 đã hoàn thành được hết các nhiệm vụ trong phiếu học tập, nên các nhóm này được đánh giá quá trình GQVĐ ở cấp P4. Nhóm 1 chỉ mới đo kích thước, chia nhỏ được miền tính diện tích, xác định được phương trình các cạnh của tam giác, dự đoán được dạng của Parabol, nhưng chưa xác định được chính xác phương trình của Parabol nên chỉ đạt cấp độ P2. Còn các nhóm khác, đã tìm ra được phương trình các đường biểu diễn cần thiết, xác định được các thông số cần thiết của tích phân nhưng chưa thực hiện được tính diện tích miền hình phẳng, do đó đạt cấp độ P3.

4.1.3. Nhiệm vụ 3

Các mô hình trong bài toán này tương đối đơn giản, nên các nhóm đã thao tác rất nhanh trong việc vẽ hình, gắn hệ trục tọa độ, đo đạc để xác định các phương trình và các thông số cần thiết để đưa tích phân vào tính diện tích. GV gần như không cần hỗ trợ các em trong bài toán này. Qua quá trình hoạt động, kết quả hoạt động của nhóm 6 như sau:



Hình 6. Vẽ hình, xác định các đường và tính diện tích MH3, MH4, MH5

Đối với bài toán này, các nhóm đều đã thực hiện rất tốt 2 nhiệm vụ mà GV đã đề ra, do đó ở nhiệm vụ này đối với MH3 cả 6 nhóm đều đạt cấp độ P4; MH4 có 5 nhóm đạt cấp độ P4; MH5 có 4 nhóm đạt cấp độ P4.

4.2. Đánh giá chung

Thông qua buổi thực nghiệm, chúng tôi thấy tất cả các SV đều thực hiện được việc đo đạc nhưng một số SV đôi lúc chưa cho ra kết quả chính xác cao trong đo đạc và xác định tọa độ các điểm mà các đường biểu diễn đi qua. Ban đầu khi tiếp xúc với mô hình 3D, SV còn gặp một số khó khăn khi thực hiện các nhiệm vụ được giao. SV còn rất khó khăn trong việc chuyển từ mô hình thực tế về mô hình toán học để giải toán. Mặt khác, SV cũng còn gặp sai sót trong các việc tính toán do xác định chưa chính xác các thông số cần thiết cho việc tính tích phân. Các nhóm đưa ra nhận xét được MH5 có diện tích gần bằng với MH2 nhất. Đối với GV, vai trò chủ yếu thể hiện ở chỗ hướng dẫn SV cách gắn hệ trục tọa độ Oxy vào các mô hình đã cho, chủ yếu là mô hình MH1 và MH2 và định hướng cho SV về cách để hoàn thành nhiệm vụ hoặc giúp SV nhớ lại một số kiến thức đã học. Đồng thời, thông qua việc so sánh diện tích của MH2 với MH3, MH4, MH5, GV cũng đã giới thiệu khái niệm tích phân theo tổng Darboux dưới cho SV. Dưới đây là bảng kết quả tổng hợp đánh giá năng lực đạt được của các nhóm thông qua các cấp độ QGVĐ.

Bảng 2. Tổng hợp kết quả đánh giá năng lực GQVĐ

Nhóm	Bài toán số 1	Bài toán số 2	Bài toán số 3		
	MH1	MH2	MH3	MH4	MH5
1	P3	P2	P4	P3	P3
2	P3	P3	P4	P4	P3
3	P4	P4	P4	P4	P4
4	P4	P3	P4	P4	P4
5	P4	P4	P4	P4	P4
6	P4	P3	P4	P4	P4

4.3. Kết quả khảo sát

Từng SV làm phiếu điều tra về “Sự hứng thú trong học Toán với sự hỗ trợ của công nghệ in 3D” với 5 mức độ: Rất hứng thú – Hứng thú – Bình thường – Không hứng thú – Rất không hứng thú. Chúng tôi tiến hành thu lại các phiếu điều tra và thu thập thông tin từ đó để có dữ liệu đánh giá. Qua kết quả thu thập 30 phiếu điều tra từ SV, chúng tôi nhận thấy có 24 SV đánh giá ở mức rất hứng thú khi tiết học Toán có sử dụng mô hình in 3D để hỗ trợ (tương ứng 80%). Như vậy, với sự hỗ trợ của công nghệ in 3D đã mang lại cho SV tiết học thú vị, sôi nổi hơn, làm tăng tính tương tác giữa SV với nhau, đồng thời cũng giúp SV có thể sử dụng kiến thức toán để giải quyết tốt hơn các vấn đề trong thực tế.

Tuy nhiên, cũng còn một bộ phận SV còn lại thì lại không đồng ý với những quan điểm trên, cụ thể có 3 SV đánh giá ở mức bình thường và 1 SV đánh giá ở mức không hứng thú. Lý do các SV đưa ra là các em cảm thấy rất khó khăn khi tiếp xúc với mô hình 3D, đặc biệt là việc chuyển từ mô hình thực tế sang mô hình toán học tương ứng.

4.4. Trả lời hai câu hỏi nghiên cứu

4.4.1. Câu hỏi nghiên cứu thứ nhất

Công nghệ in 3D có những tiềm năng nào trong hỗ trợ dạy học chủ đề tính diện tích hình phẳng? Chúng tôi đã thiết kế các sản phẩm liên quan đến các mô hình cần tính diện tích hình phẳng. Từ kết quả hoạt động của các nhóm trên các phiếu học tập và quá trình thực nghiệm đối với SV về chủ đề này, chúng tôi nhận thấy việc sử dụng in 3D hỗ trợ trong dạy học chủ đề tính diện tích hình phẳng có một số tiềm năng đáng ghi nhận. SV có thể tiếp cận kiến thức toán thông qua mô hình thực tế (MH1, MH2, MH3, MH4, MH5), SV vận dụng được kiến thức đã học từ đơn giản đến phức tạp vào giải quyết các vấn đề đặt ra, chẳng hạn như: đo kích thước, khoảng cách, tính toán, dự đoán hình dạng, đặc điểm của các đường và mối quan hệ của chúng thể hiện thông

qua nhiệm vụ 1, nhiệm vụ 2 và nhiệm vụ 3 trong phần đánh giá kết quả thực nghiệm. Các mẫu hình in 3D đã tạo điều kiện cho SV có cơ hội tư duy, sáng tạo, giúp phát triển năng lực giải quyết vấn đề cho SV thông qua việc SV biết gắn hệ trục tọa độ *Oxy* phù hợp vào để dự đoán, xác định phương trình của các đường cần tìm. Mỗi SV trong nhóm được phân chia thực hiện công việc và cùng nhau thảo luận đưa ra ý tưởng trong việc dự đoán và xác định được phương trình các đường, từ đó làm tăng tính tương tác giữa các SV với nhau. SV được thực hành giải quyết vấn đề với các mô hình từ đơn giản đến phức tạp, xuất phát từ bài toán 1 với MH1 đơn giản, chuyển sang bài toán 2 có cùng yêu cầu nhiệm vụ với bài toán 1 nhưng cấu trúc của MH2 phức tạp hơn và cuối cùng là bài toán 3, với 3 mô hình (MH3, MH4, MH5), cùng yêu cầu thực hiện nhiệm vụ cao hơn bài toán 1 và 2.

4.4.2. Câu hỏi nghiên cứu thứ hai

SV đã thể hiện năng lực giải quyết vấn đề như thế nào khi làm việc với các mô hình in 3D trong chủ đề tính diện tích hình phẳng? Việc tính diện tích hình phẳng khi đã cho sẵn giả thiết về các đường giới hạn là vấn đề không xa lạ với SV. Tuy nhiên, lần này chúng tôi thực nghiệm cho SV tiếp xúc với các mô hình 3D có hình dạng miền tính diện tích hình phẳng là hình thang và hình thang cong. Qua quá trình thực nghiệm và kết quả trên các phiếu học tập cho thấy SV trong các nhóm 3 và nhóm 5 được đánh giá cao về sự phối hợp và hoạt động nhóm. Họ tích cực thảo luận, đưa ra ý tưởng và cùng nhau giải quyết bài toán, đặc biệt thể hiện tốt ở các nhiệm vụ 1 và 2. Kết quả trên phiếu học tập của hai nhóm này cho thấy họ có khả năng đo đạc chính xác, xác định đúng các yếu tố cần thiết của tích phân và tính diện tích hình phẳng một cách hiệu quả. Việc so sánh kết quả giữa các nhóm cũng là một dấu hiệu cho thấy SV chủ động kiểm chứng tính chính xác của phương trình họ tìm được. Bên cạnh đó, nhóm 4 và nhóm 6 có nhiều SV thể hiện khả năng nhận diện vấn đề và tư duy sáng tạo khi tìm cách xác định phương trình đường giới hạn của các miền hình phẳng. Đặc biệt, trong nhiệm vụ 2 với mô hình hình thang cong, SV đã gặp khó khăn khi xử lý phương trình bậc hai (Parabol), nhưng họ đã thảo luận và tìm ra cách chia nhỏ miền hình thang cong để tính diện tích. Dữ liệu trên phiếu học tập của nhóm 3 và nhóm 5 cho thấy họ có thể tư duy logic để kết hợp nhiều yếu tố toán học khác nhau nhằm giải quyết vấn đề một cách chính xác và đầy đủ. Nhóm 3 và nhóm 5 có nhiều thành viên đạt cấp độ P4 (mức độ cao nhất), cho thấy họ có năng lực giải quyết vấn đề tốt, biết cách thực hành tính toán và trình bày đầy đủ. Các nhóm còn lại có một số thành viên ở mức P3 hoặc P2, thể hiện họ vẫn đang trong quá trình làm quen với cách sử dụng mô hình 3D để giải toán.

5. Thảo luận và kết luận

Nghiên cứu đã cho thấy việc sử dụng công nghệ in 3D trong giảng dạy chủ đề Ứng dụng của Tích phân trong tính diện tích hình phẳng cho SV năm đầu đại học có thể mang lại nhiều lợi ích. Việc thực hành trên các mô hình 3D giúp người học hình dung những thể hiện và áp dụng kiến thức một cách trực quan và sinh động hơn. Việc sử dụng công nghệ in 3D cũng giúp

các SV có cơ hội tư duy, sáng tạo, nâng cao năng lực giải quyết vấn đề, được thể hiện thông qua việc SV đã hoàn thành các nhiệm vụ được phân công.

Nghiên cứu cũng cho thấy với sự hỗ trợ của công nghệ in 3D thì chủ đề dạy học tính diện tích hình phẳng đã trở nên gần gũi và thiết thực hơn với các bạn SV. Thông qua 5 mô hình được thiết kế liên quan đến chủ đề, SV đã quan sát, đưa ra các ý tưởng, đo đạc, tìm các mối quan hệ, tìm các giả thiết cần có, áp dụng các kiến thức toán học đã biết vào giải quyết vấn đề. SV đã tỏ ra rất thích thú, trao đổi nhiệt tình trong nhóm khi tham gia vào thực hiện các nhiệm vụ được giao. Đồng thời, việc tính toán với các MH3, MH4, MH5 đã giúp SV hiểu rõ hơn khái niệm tích phân. Những thao tác của SV trên các mô hình 3D cũng giúp cho SV rèn luyện kỹ năng tìm tòi giả thiết trên các mô hình thực tế, kỹ năng sử dụng các công cụ và phương tiện học tập, kỹ năng vận dụng kiến thức toán học vào giải quyết các bài toán thực tiễn. Nhìn chung, công nghệ in 3D hứa hẹn sẽ tạo nên được các công cụ hữu ích và tiên tiến trong việc hỗ trợ nâng cao chất lượng giáo dục toán học, cụ thể cho đối tượng là SV năm đầu đại học.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Airish P. Pelemeniano, Marvin H. Siega (2023), Integrating Mathematical Modeling of Real-Life Problems: A Contextualized Approach to Developing Instructional Material in Basic Calculus, *International Journal of Membrane Science and Technology*, Vol. 10, No. 3, pp 149-163
2. Akyol, C., Uygur, M. & Yanpar-Yelken, T. (2022), 3D Printers as an Educational Tool in Gifted Education: Effective Use, Problems and Suggestions, *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 10(2), p173-205, DOI:10.17478/jegys.1105484.
3. Asempapa, R. S., & Love, T. S. (2021), Teaching math modeling through 3D-printing: Examining the influence of an integrative professional development, *School Science and Mathematics*, 121(2), p85 - 95, DOI: 10.1111/ssm.12448.
4. B. Redwood, Schoffer F. & Garret B. (2017), *The 3D printing handbook: technologies, design and applications*, 3D Hubs B.V. 2017.
5. Dilling F. & Witzke I. (2018), 3D-Printing – *Technology in Mathematics education – Examples from the calculus*, University of Siegen, Germany, p54-58.
6. Dilling, F., Witzke, I. (2020), The Use of 3D-Printing Technology in Calculus Education: Concept Formation Processes of the Concept of Derivative with Printed Graphs of Functions, *Digital Experiences in Mathematics Education*, 6, p320–339. DOI: 10.1007/s40751-020-00062-8.

7. Ford S., Minshall T. (2017), 3D printing in teaching and education: A review of where and how it is used, *The Engineering and Physical Sciences Research Council*, p1-43.
8. Ha, O., & Fang, N. (2013), *Development of interactive 3D tangible models as teaching aids to improve students' spatial ability in STEM education*, Proceedings of the Frontiers in Education Conference.
9. Halverscheid, S. & Labs, O. (2019), *Felix Klein's mathematical heritage seen through 3D models*, In Weigand H.-G. et al. (Eds), *The Legacy of Felix Klein*, p131-152, ICME-13, DOI: 10.1007/978-3-319-99386-7.
10. Huleihil M. (2017), *3D printing technology as innovative tool for math and geometry teaching applications*, 5th Global Conference on Materials Science and Engineering, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 164 (2017) 012023, DOI:10.1088/1757-899X/164/1/012023.
11. Novak E. & Wisdom S. (2020), *Using 3D Printing in Science for Elementary Teachers*, In Joel J. M. and Emily M. W. (Eds.), *Active Learning in College Science: The Case for Evidence-Based Practice*. Springer.
12. OECD. (2023), *PISA 2022 Mathematics Framework*, in *PISA 2022 Assessment and Analytical Framework*, OECD Publishing, Paris, DOI:10.1787/7ea9ee19-en.
13. Patrick Griffin, Barry McGaw, Esther Care (2012), *Assessment and Teaching of 21st Century Skills* (p. 36). Dordrecht: Springer, DOI:10.1007/978-3-319-65368-6.
14. Shahrubudina N., Leea T. C., Ramlan R. (2019), *An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications*, 2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing (SMPM 2019), *Procedia Manufacturing* 35, p1286–1296.
15. Skedsmo, G., & Huber, S. G. (2019), Top-down and bottom-up approaches to improve educational quality: their intended and unintended consequences, *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 31, p1-4.