



Review Article

Developing Creative Thinking in STEM Education through Design- Based Learning

Bui Thi Thuy Hang*

Hanoi University of Science and Technology, 1 Dai Co Viet, Hai Ba Trung, Hanoi, Vietnam

Received 04 January 2024

Revised 17 April 2024; Accepted 02 May 2024

Abstract: Creativity is one of the fundamental skills of the 21st century and has become a crucial task in education. This article provides a definition of creative thinking manifested in generating novel, unique, and valuable ideas and solutions to address posed problems. Characteristics of creativity such as fluency, originality, flexibility, and elaboration serve as indicators to evaluate the level of creativity in products of the engineering design process. Recognizing the importance of creativity in a dynamic world, creative education has been integrated into the mainstream education curriculum through the implementation of STEM teaching. Following this, the concept of design-based learning has been introduced as a STEM teaching approach based on integrating the engineering design process into classrooms, allowing learners to apply scientific and technological knowledge and skills to complex real-life problems. Finally, research in STEM education through the engineering design process to enhance learners' creative thinking has been synthesized. The aim is to provide ideas and guidance for teachers in organizing STEM teaching, aligning with the goal of fostering creativity for citizens in the digital age.

Keywords: Creative thinking, STEM education, design-based learning, general education.

* Corresponding author.

E-mail address: hang.buithithuy@hust.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1159/vnuer.4888>

Phát triển tư duy sáng tạo trong giáo dục STEM thông qua học tập dựa trên thiết kế

Bùi Thị Thuý Hằng*

Đại học Bách khoa Hà Nội, số 1 Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 04 tháng 01 năm 2024

Chỉnh sửa ngày 17 tháng 4 năm 2024; Chấp nhận đăng ngày 02 tháng 5 năm 2024

Tóm tắt: Sáng tạo là một trong những kỹ năng cơ bản của thế kỷ 21 và đã trở thành một trong những nhiệm vụ quan trọng của giáo dục. Bài báo này sẽ đưa ra định nghĩa về tư duy sáng tạo thể hiện ở việc đưa ra những ý tưởng và giải pháp mới mẻ, độc đáo và có giá trị để giải quyết các vấn đề đặt ra. Các đặc điểm của tư duy sáng tạo như tính thành thực, độc đáo, linh hoạt và phong phú cũng chính là những chỉ số để đánh giá mức độ sáng tạo trong các sản phẩm của quá trình thiết kế kỹ thuật. Ý thức rõ về tầm quan trọng của tư duy sáng tạo trong thế giới đầy biến động, giáo dục tư duy sáng tạo đã được tích hợp vào chương trình giáo dục phổ thông thông qua các chương trình giáo dục STEM. Tiếp theo khái niệm học tập dựa trên thiết kế đã được giới thiệu như một cách thức dạy học STEM dựa trên sự tích hợp quá trình thiết kế của các kỹ sư vào lớp học cho phép người học chuyên giao những kiến thức, kỹ năng về khoa học và công nghệ vào những vấn đề phức tạp trong thực tiễn cuộc sống. Cuối cùng, các nghiên cứu giáo dục STEM thông qua quy trình thiết kế kỹ thuật nhằm cải thiện tư duy sáng tạo của người học đã được tổng hợp nhằm đưa ra những ý tưởng và hướng dẫn đối với giáo viên trong quá trình tổ chức dạy học STEM nhằm đáp ứng mục tiêu phát triển tư duy sáng tạo cho những công dân trong kỷ nguyên công nghệ số.

Từ khóa: Tư duy sáng tạo, giáo dục STEM, học tập dựa trên thiết kế, giáo dục phổ thông.

1. Mở đầu

Trong thế giới ngày nay, những thay đổi nhanh chóng về mặt công nghệ, kinh tế, xã hội và sự toàn cầu hóa [1] đòi hỏi tư duy sáng tạo là một kỹ năng quan trọng để sinh tồn và thích nghi với những biến đổi. Để không bị tụt hậu trong thời kỳ hiện đại, việc nâng cao tư duy sáng tạo của cá nhân đã trở thành một trong những nhiệm vụ quan trọng của giáo dục. Có thể thấy, tư duy sáng tạo đóng một vai trò trung tâm trong bối cảnh giáo dục hiện nay [2] bởi lẽ trong một môi trường học tập sáng tạo, học sinh học cách nhận diện và giải quyết các vấn đề mở, đối mặt với sự thay đổi trong thế giới, chuẩn bị cho những công việc thay đổi liên tục

trong tương lai, và thực hành kỹ năng để tạo ra những sáng chế, khám phá và nghệ thuật [3].

Trong những năm gần đây, STEM đã được biến đổi và triển khai rộng rãi trong lĩnh vực giáo dục nhằm bồi dưỡng kiến thức và kỹ năng liên ngành cho người học, được coi như động lực cho sự phát triển của một quốc gia về kiến thức khoa học và công nghệ, sự đổi mới, kinh tế và sự cạnh tranh quốc tế. Do đó giáo dục STEM được nổi lên như một mục tiêu tối quan trọng của nhiều quốc gia trong việc theo đuổi sự xuất sắc [4]. Ở Việt Nam, thực hiện Chỉ thị số 16/CT-TTg ngày 04/5/2017 của Thủ tướng Chính phủ về việc tăng cường năng lực tiếp cận cuộc Cách mạng công nghiệp lần thứ 4, giáo dục STEM đã được Bộ Giáo dục và Đào tạo đưa vào các văn bản hướng dẫn thực hiện nhiệm vụ giáo dục từ năm 2017-2018 và đến nay vẫn tiếp tục chỉ đạo các địa phương trên toàn quốc tích hợp STEM trong quá trình thực hiện chương trình giáo dục phổ thông. Căn cứ

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: hang.buiithuy@hust.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1159/vnuer.4888>

kết quả triển khai thí điểm giáo dục STEM trong năm học 2022 - 2023, Sở Giáo dục và Đào tạo Hà Nội đã quyết định triển khai đại trà giáo dục STEM đến tất cả các trường Tiểu học trên địa bàn Thành phố từ năm học 2023 - 2024¹.

Việc ban hành một khung giáo dục khoa học bậc học phổ thông [5] và tiếp đó là các tiêu chuẩn khoa học cho thế hệ kế tiếp [6] đã hướng sự chú ý của các giáo viên khoa học đến việc thiết kế kỹ thuật. Các hoạt động mà trong đó học sinh thực hiện thiết kế và xây dựng cung cấp một phương tiện xuất sắc để giáo viên truyền tư duy sáng tạo vào chương trình học. Thách thức đặt ra là giáo viên nhận ra tiềm năng sáng tạo, nuôi dưỡng nó và học sinh đáp ứng với nó. Việc nhận biết tiềm năng sáng tạo có thể được thực hiện một phần bằng cách hỗ trợ tư duy sáng tạo trong lớp học [7]. Có nhiều cách dạy học STEM, một trong số đó có thể kể đến dạy học dự án, dạy học nêu vấn đề, dạy học nghiên cứu, học tập dựa trên thiết kế. Tuy nhiên, học tập dựa trên thiết kế là tiếp cận dạy học còn mới mẻ và chưa được nhiều nhà nghiên cứu giáo dục ở Việt Nam đề cập tới.

Bài báo này sẽ đề cập trước hết đến khái niệm về tư duy sáng tạo: định nghĩa và đặc điểm; tích hợp tư duy sáng tạo trong chương trình giáo dục phổ thông và một số cách thức đo lường tư duy sáng tạo. Tiếp đó, bài báo trình bày vai trò của giáo dục STEM đối với tư duy sáng tạo. Phần cuối của bài báo sẽ tập trung làm rõ khái niệm học tập dựa trên thiết kế, quy trình tổ chức học tập dựa trên thiết kế, vai trò của sáng tạo trong quy trình thiết kế và khuyến khích tư duy sáng tạo của học sinh trong giáo dục STEM thông qua học tập dựa trên thiết kế.

2. Khái niệm tư duy sáng tạo: định nghĩa và đặc điểm

Có rất nhiều định nghĩa về tư duy sáng tạo: tư duy sáng tạo là kỹ năng hình thành một ý tưởng mới hoặc là sự kết hợp của một số ý tưởng để trở thành một ý tưởng mới nhằm đáp

ứng nhu cầu cụ thể [8]; là phát triển các ý tưởng sáng tạo để giải quyết vấn đề [9]; là tạo ra những ý tưởng mới, chiến lược mới và phát triển các phương pháp tiếp cận để thực hiện các nhiệm vụ nhằm đạt được kết quả hiệu quả hơn [10]; là một quy trình mà cá nhân sử dụng để tạo ra những ý tưởng, giải pháp hoặc sản phẩm mới có giá trị [11]; là cách suy nghĩ hướng đến một kết quả sáng tạo [12]. Tuy có sự khác nhau về cách biểu đạt, nhưng có thể đi đến thống nhất rằng: tư duy sáng tạo đề cập đến việc đưa ra và thể hiện những ý tưởng, những giải pháp mới mẻ, độc đáo và có giá trị để giải quyết các vấn đề đặt ra.

Dựa trên thành tựu của các nghiên cứu kinh điển về tâm lý học sáng tạo [13, 14], Phạm Thành Nghị [15] đã cụ thể hóa những đặc điểm chung của sáng tạo như sau: i) Tính độc đáo (originality) – sự hiếm lạ của những câu trả lời, giải pháp, tính chất được phát hiện; ii) Tính thành thục (fluency)- số lượng các ý tưởng, giải pháp, thuộc tính được đưa ra; iii) Tính mềm dẻo (flexibility)- số lượng các nhóm câu trả lời, các thuộc tính, giải pháp được phát hiện, tạo dựng; và iv) Tính chi tiết, hoàn thiện (elaboration)- số lượng các ý tưởng chi tiết, cụ thể được ghi nhận. Các đặc điểm của sáng tạo không tách rời nhau mà chúng có mối liên hệ mật thiết với nhau, bổ sung cho nhau, trong đó tính độc đáo được coi là quan trọng nhất trong biểu đạt sáng tạo, tính mềm dẻo và hoàn thiện là cơ sở để đạt được tính độc đáo và sự hoàn thiện. Các đặc điểm này cũng chính là các tiêu chí đánh giá tư duy sáng tạo được sử dụng phổ biến nhất trong đo lường tư duy sáng tạo sau này.

3. Tích hợp tư duy sáng tạo trong chương trình giáo dục phổ thông và đo lường tư duy sáng tạo

3.1. Tích hợp tư duy sáng tạo trong chương trình giáo dục phổ thông

Nhận thức rõ vai trò trung tâm của tư duy sáng tạo trong thế giới ngày nay, các nhà giáo dục đã tích hợp sáng tạo vào chương trình giáo dục từ mẫu giáo đến lớp 12. Để khuyến khích phát triển tư duy sáng tạo, Cropley [16] đã đưa ra các yêu cầu của một lớp học sáng tạo như

¹ <https://laodongthudo.vn/tu-nam-hoc-2023-2024-ha-noi-trien-khai-dai-tra-giao-duc-stem-o-cap-tieu-hoc-156160.html>.

đưa ra các nhận xét có tính xây dựng, khuyến khích tư duy độc lập của học sinh, dành thời gian để học sinh theo đuổi ý tưởng của mình và cho phép học sinh thử nghiệm ý tưởng mới bằng cách truyền cảm hứng để giải quyết vấn đề bằng nhiều cách có thể thay vì kháng kháng yêu cầu giải quyết theo một cách nhất định. Sternberg [17] lưu ý rằng học sinh nên được động viên để sáng tạo, phát minh, khám phá, thám hiểm, tưởng tượng và giả định để phát triển tư duy sáng tạo trong cuộc sống. Starko [18] chỉ ra ba yếu tố chính khi phát triển tư duy sáng tạo trong lớp học: i) Dạy về bản chất của tư duy sáng tạo và các chiến lược phát triển ý tưởng sáng tạo; ii) Dạy về những cá nhân sáng tạo trong các lĩnh vực; và iii) Và phát triển một lớp học thân thiện với tư duy sáng tạo. Dựa trên những yếu tố này, ông đã bổ sung các chiến lược tư duy phân kỳ, sử dụng các phép ẩn dụ và so sánh, hình dung và kịch nghệ sáng tạo, ngoài ra các chương trình thương mại và cạnh tranh có thể là một số cách để phát triển tư duy sáng tạo trong lớp học. Khi phân tích đặc điểm của môi trường học tập sáng tạo, Jindal-Snape và đồng nghiệp [19] đã nhấn mạnh rằng các môi trường học tập như vậy nên linh hoạt về cả về khía cạnh vật lý và phương pháp giáo dục, khuyến khích học sinh kiểm soát việc học tập của họ, cho phép họ trải nghiệm môi trường học tập cả bên trong và bên ngoài trường, giải phóng học sinh khỏi áp lực và để học sinh sử dụng thời gian linh hoạt.

3.2. Đo lường tư duy sáng tạo

Sự khởi đầu của các đánh giá về tư duy sáng tạo trùng khớp với các bài kiểm tra tư duy phân kỳ [20]. Do đó, việc định nghĩa về tư duy phân kỳ sẽ có ý nghĩa quan trọng trước khi thảo luận về các chỉ số của tư duy sáng tạo và cách đánh giá nó. Guilford [13] mô tả tư duy phân kỳ là; "... một khái niệm được định nghĩa theo một bộ các yếu tố về khả năng trí tuệ chủ yếu liên quan đến việc truy xuất thông tin và với các bài kiểm tra của họ, yêu cầu một loạt các phản ứng đa dạng cho mỗi mục kiểm tra" (trang 138).

Guilford phát triển một mô hình có tên là cấu trúc mô hình trí tuệ (SOI) trong đó ông đã đề xuất 24 loại tư duy phân kỳ có thể được sử

dụng để đánh giá tư duy sáng tạo. Sau khi thuật ngữ "tư duy phân kỳ" được giới thiệu trong các nghiên cứu, hầu hết các nỗ lực để đánh giá tư duy sáng tạo đã được xây dựng xung quanh khái niệm này và được sử dụng trên khắp thế giới [20].

Nghiên cứu ban đầu của Guilford [13] về các bài kiểm tra tư duy phân kỳ và mô hình trí tuệ đã giới thiệu các khái niệm về fluency (sự thành thạo), flexibility (tính linh hoạt), originality (sự độc đáo), và elaboration (tính chi tiết) vào các nghiên cứu đánh giá tư duy sáng tạo. Khái niệm thứ nhất, fluency, liên quan đến số lượng ý tưởng, giải pháp, hoặc câu trả lời và đơn giản là việc truy xuất thông tin. Khái niệm thứ hai, flexibility, chỉ số số lượng danh mục khác nhau của ý tưởng, giải pháp, hoặc câu trả lời và dẫn đến phân loại thông tin [20]. Khái niệm thứ ba, elaboration, tập trung vào sự phong phú của nội dung được mô tả trong từng đề mục [21]. Elaboration có thể dẫn đến các ý kiến mới và tạo ra tư duy theo dạng chuỗi [13]. Cuối cùng, khái niệm thứ tư, originality, liên quan đến tính độc đáo hoặc sự hiếm có của các câu trả lời [21], cũng như việc sản xuất các hệ thống và sản phẩm mới [13]. Ý tưởng của Guilford về việc kiểm tra tư duy sáng tạo bằng cách sử dụng những khái niệm này đã được các nhà nghiên cứu ở nhiều lĩnh vực khác nhau tiếp nhận một cách chủ động và được các nhà nghiên cứu thích nghi trong nhiều lĩnh vực khác nhau trong đó có cả tư duy sáng tạo nói chung [14], tư duy sáng tạo trong toán học [22], khoa học [23], và kỹ thuật [21]. Những khái niệm này đã phát triển thành các chỉ số của tư duy sáng tạo, điều này đánh dấu sự khởi đầu của việc đánh giá tư duy sáng tạo ở quy mô lớn với các chỉ số của tư duy phân kỳ [20].

Dựa trên bốn khái niệm này, Nguyễn Văn Biên và cộng sự [24] đã xây dựng một công cụ đánh giá năng lực sáng tạo của học sinh trong thiết kế kỹ thuật thông qua các bài học STEM gồm 17 chỉ số hành vi trong đó thành tố "Lưu loát" gồm 4 chỉ số, "Linh hoạt" gồm 5 chỉ số, "Độc đáo" gồm 3 chỉ số, "Chi tiết" gồm 5 chỉ số. Kết quả phân tích độ tin cậy, phân tích nhân tố khám phá (EFA) và phân tích nhân tố

khẳng định (CFA) cho thấy công cụ có độ tin cậy cao và phù hợp để đánh giá năng lực sáng tạo.

Một cách khác để đánh giá tư duy sáng tạo, đó là một kỹ thuật đánh giá chủ quan đáng tin cậy, có tên gọi là Kỹ thuật Đánh giá đồng thuận, dựa trên việc đánh giá của các chuyên gia về sản phẩm. Amabile [25] lưu ý rằng khi thực hiện kỹ thuật này, tất cả các giám khảo cần quen thuộc với lĩnh vực đến mức đủ để nhận biết một sản phẩm sáng tạo, tất cả các đánh giá nên được thực hiện độc lập, tất cả các sản phẩm nên được đánh giá ở một số chiều khác nhau như khía cạnh kỹ thuật và sức hấp dẫn về mặt thẩm mỹ. Ngoài tư duy sáng tạo, tất cả các sản phẩm nên được đánh giá so với các sản phẩm khác và mỗi giám khảo nên xem xét các sản phẩm theo thứ tự khác nhau. Ban đầu, Amabile [25] áp dụng kỹ thuật này để đánh giá tư duy sáng tạo nghệ thuật và ngôn ngữ.

4. Vai trò của giáo dục STEM đối với tư duy sáng tạo

Sáng tạo là một phần không thể thiếu trong các kỹ năng của thế kỷ 21 và đã trở thành một trong những mục tiêu quan trọng của chương trình giáo dục phổ thông 2018 ở nước ta. Bên cạnh đó, tư duy sáng tạo còn được xếp ở bậc cao nhất trong thang nhận thức của Bloom đã sửa đổi mà mọi hoạt động giáo dục đều hướng đến. Có thể thấy giáo dục đang nhấn mạnh đến việc phải dạy tư duy sáng tạo cho người học để giúp họ thành công với tư cách là những công dân tương lai.

Tiếp cận giáo dục STEM được định nghĩa như là sự tích hợp của hai hay nhiều môn học để giải quyết các vấn đề từ thực tiễn cuộc sống và có khả năng cải thiện kỹ năng tư duy sáng tạo của người học [26]. Harris và Bruin [27] cho rằng giáo dục STEM đặt trọng tâm vào tư duy sáng tạo và đề xuất rằng các nghiên cứu thực nghiệm cần được tiến hành để chỉ ra những cách thức phát huy tư duy sáng tạo trong giáo dục STEM. Trong một nghiên cứu lý thuyết khác, Henriksen [28] cho rằng tính tương tác đa ngành của STEM, khi xây dựng dựa trên sự tích hợp của khoa học, toán học, kỹ thuật và công nghệ, cũng giúp học sinh áp dụng kiến

thức từ các lĩnh vực khác nhau để tạo ra sản phẩm mới. Do đó, giáo dục STEM là một trong những phương pháp quan trọng nhất để phát triển tư duy sáng tạo. Nemiro và đồng nghiệp [29] đã thực hiện việc tích hợp robot trong giáo dục STEM với 194 học sinh tiểu học trong khoảng 3 năm. Trong nghiên cứu quan sát thăm dò này, học sinh đã làm việc chăm chỉ trên các thách thức robot mở. Họ nhận thấy rằng các thách thức robot có thể cải thiện tư duy sáng tạo của học sinh. Hơn nữa, họ cũng nhấn mạnh nhu cầu phát triển công cụ hoặc phương pháp mới để đánh giá hoặc kiểm tra tư duy sáng tạo trong giáo dục STEM. Gần đây, giáo dục STEAM bao gồm thêm một chữ A cho môn nghệ thuật trong quá trình dạy học đã nổi lên như một biến thể của giáo dục STEM với mục đích là nâng cao khả năng sáng tạo của học sinh [30].

5. Tư duy sáng tạo trong giáo dục STEM thông qua học tập dựa trên thiết kế

5.1. Khái niệm học tập dựa trên thiết kế

Học tập dựa trên thiết kế (design-based learning - DBL), còn được biết đến với tên gọi khoa học dựa trên thiết kế, nghiên cứu khoa học thiết kế, hoặc học bằng cách tạo ra, là một phương pháp học mà người học đánh giá hiểu biết của mình thông qua thiết kế. Sử dụng kiến thức của mình, người học cung cấp một giải pháp thông qua việc tham gia vào các hoạt động thiết kế - một chiến lược học thường liên kết với giáo dục thiết kế và công nghệ - để giải quyết các vấn đề thực tế thông qua việc xây dựng các sản phẩm sáng tạo và đổi mới [31].

Học tập dựa trên thiết kế được xây dựng dựa trên sự tích hợp quá trình thiết kế của các kỹ sư vào lớp học để giải quyết các vấn đề thực tế [32]. Học sinh cần tiếp thu những kỹ năng khoa học, toán học và công nghệ để giải quyết những vấn đề trong thế giới thực bằng cách sử dụng những thiết kế giống như kỹ sư được xem là công cụ cung cấp bối cảnh thực tế cho cả việc học khoa học và toán học. Tiếp cận học tập dựa trên thiết kế cho phép học sinh chuyển giao nền tảng kiến thức thành những vấn đề phức tạp [33], khuyến khích học sinh và cải thiện kiến thức kỹ thuật của họ thông qua trải nghiệm quá

trình thiết kế [33]. Có thể thấy, tiếp cận học tập dựa trên thiết kế được xây dựng dựa trên quá trình thiết kế kỹ thuật.

Học tập dựa trên thiết kế tăng cường sự tưởng tượng, sáng tạo và tài năng của sinh viên đồng thời cải thiện tư duy bậc cao và sự hiểu biết [31]. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, thông qua học tập dựa trên thiết kế sinh viên cải thiện được khả năng tư duy hệ thống, các hoạt động liên ngành và kỹ năng làm việc nhóm [34], điều này cho phép họ áp dụng các khái niệm trong các ngữ cảnh khác nhau. Giống như nhiều hoạt động nghiên cứu, các nhiệm vụ thiết kế thúc đẩy các chiến lược cơ bản như phân tích, tổng hợp và đánh giá, cũng như các chiến lược thiết kế như phát hiện vấn đề, đặt câu hỏi, thảo luận và nghiên cứu vật liệu, ước lượng, tính toán và phác thảo [35]. Các nhiệm vụ thiết kế được xây dựng dựa trên cơ sở giáo dục vững chắc phản ánh nhiệm vụ nghiên cứu ở một số đặc điểm sau: i) Có tính chất chân thực và thực hành; ii) Có kết quả được xác định rõ ràng cho phép nhiều cách thức giải quyết; và iii) Khuyến khích sự tập trung vào người học, các công việc cộng tác ở mức độ yêu cầu cao [36]; Ngoài kỹ năng nghiên cứu, các nhiệm vụ thiết kế cũng iv) Sử dụng vật liệu quen thuộc và dễ làm việc; v) Cho phép nhiều lần thử nghiệm thiết kế để cải thiện công việc; và vi) Có liên kết rõ ràng với các khái niệm khoa học và kỹ thuật [36].

5.2. Quy trình học tập dựa trên thiết kế

Nhiều nhà nghiên cứu đề xuất quá trình thiết kế kỹ thuật như một cách thức để giải quyết thách thức trong lĩnh vực STEM [37]. Sở Giáo dục Massachusetts [38] đề xuất 8 bước của quá trình thiết kế kỹ thuật, cung cấp một hướng dẫn cho giáo viên và các nhà điều phối chương trình về việc học, giảng dạy và đánh giá nội dung cụ thể về khoa học và công nghệ/kỹ thuật cho học sinh từ mầm non đến trung học. Tám bước của quá trình thiết kế kỹ thuật này bao gồm: xác định nhu cầu hoặc vấn đề, tìm hiểu về nhu cầu hoặc vấn đề, phát triển các giải pháp có thể, chọn giải pháp tốt nhất, xây dựng một mô hình nguyên mẫu, kiểm tra và đánh giá giải pháp, truyền thông giải pháp và thiết kế lại. Sau đó, Hynes và cộng sự [37] đã bổ sung thêm

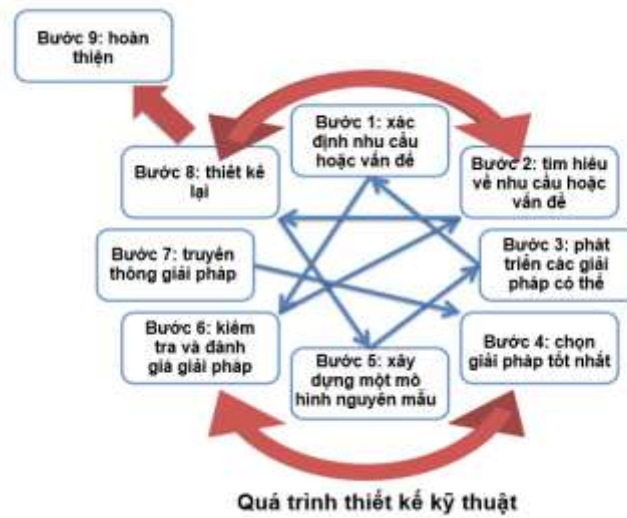
một bước hoàn thiện và mô tả quá trình thiết kế kỹ thuật cho học sinh trung học theo một chu kỳ 9 bước như Hình 1.

Tùy thuộc yêu cầu công việc, đôi khi có sự dịch chuyển giữa các bước trong hình vẽ. Bằng cách áp dụng mô hình này, học sinh sẽ nhận ra rằng Quy trình thiết kế Kỹ thuật (EDP) không dựa trên tư duy cứng nhắc, mà thúc đẩy tư duy sáng tạo và đột phá. Mục đích của việc học tập dựa trên thiết kế kỹ thuật là khuyến khích học sinh tiếp xúc với kỹ thuật thông qua các hoạt động thực hành như một ứng dụng thực tế của kiến thức toán và khoa học. Thông qua thực tế kỹ thuật, học sinh trung học nhận ra rằng đó không chỉ là việc xây dựng các vật phẩm mà còn là quá trình thiết kế cấu trúc, trong đó việc xác định và định nghĩa rõ ràng về vấn đề hoặc nhu cầu, nghiên cứu, lập kế hoạch và nảy ra ý tưởng, thử nghiệm và đánh giá, và giao tiếp là cần thiết.

Trong thực tế dạy học, quy trình thiết kế kỹ thuật thường được rút ngắn thành 5 bước như sau:

i) Xác định vấn đề: thách thức thiết kế thường bắt đầu từ một vấn đề thực tế. Trong bước này, các kỹ sư xác định vấn đề, các tiêu chí (đặc điểm hoặc tính năng mà một thiết kế thành công cần có) và ràng buộc (thách thức hoặc trở ngại ngăn cản sự thành công của thiết kế) cần xem xét để giải quyết vấn đề [37]. Chỉ khi vấn đề được xác định rõ, mới có thể tạo ra một giải pháp thành công. Tương tự, học sinh được cung cấp một vấn đề được xác định rõ ràng để họ trải nghiệm quy trình làm việc giống như kỹ sư. Sau khi xác định vấn đề, sinh viên được phép dành một thời gian để tìm hiểu, đặt ra các tiêu chí cần thiết cho một thiết kế thành công và những hạn chế ngăn cản việc xây dựng một thiết kế thành công [39];

ii) Phát triển giải pháp là bước thứ hai của quy trình thiết kế kỹ thuật đòi hỏi sự tư duy sáng tạo nhiều nhất [40]. Ở bước này, người học nên tạo ra nhiều ý tưởng nhất có thể dựa trên các tiêu chí và những ràng buộc cần thiết để giải quyết vấn đề [39];



Hình 1. Quá trình thiết kế kỹ thuật.

iii) Lựa chọn giải pháp tốt nhất: người học thảo luận về cách mà mỗi giải pháp đáp ứng các tiêu chí và ràng buộc liên quan đến vấn đề [37] hoặc làm việc với các ràng buộc. Lee và Kolodner [41] đã nói rằng nhà thiết kế sáng tạo hoặc người giải quyết vấn đề nên nghĩ về các giải pháp khác nhau và cách để những giải pháp của các vấn đề tương tự có thể được áp dụng vào giải quyết một vấn đề cụ thể. Từ phát biểu này, có thể thấy hai bước phát triển các giải pháp có thể và lựa chọn giải pháp tốt nhất, kết nối thách thức thiết kế với tư duy sáng tạo;

iv) Tạo ra nguyên mẫu và kiểm thử giải pháp: sinh viên phải tạo ra một nguyên mẫu, đó có thể là một báo cáo hoặc mô hình (vật lý, ảo hoặc toán học) của giải pháp cuối cùng và kiểm thử giải pháp của họ dựa trên các ràng buộc và tiêu chí của vấn đề để đánh giá xem mô hình nguyên mẫu của họ có thành công hay không [39];

v) Truyền thông là bước cuối cùng: sinh viên chia sẻ ý kiến và kết quả của họ với sinh viên khác để nhận phản hồi như các kỹ sư làm việc với nhau [42].

STEM có thể được tích hợp vào quá trình thiết kế kỹ thuật nhằm cung cấp một cơ chế giúp học sinh học được các nội dung STEM liên quan [43]. Cơ chế này khuyến khích học sinh tạo ra các kết nối, giúp liên kết thất bại trong thiết kế hoặc các bước tiếp theo với kỹ

thuật và công nghệ trong thực tế [44]. Học sinh học các khái niệm khoa học quan trọng và cách chúng được áp dụng trong kỹ thuật và công nghệ, cũng như mối quan hệ và ứng dụng của chúng trong cuộc sống hàng ngày hoặc ngữ cảnh thực tế. Học sinh có thể tìm kiếm các kết nối bằng cách tham gia vào các hoạt động hoặc tài liệu trong bối cảnh "thế giới thực" để thiết lập sự liên quan. Phương pháp này có thể thu hút sự quan tâm của học sinh đến các bài học khoa học và cung cấp cho họ một hiểu biết sâu sắc về các khái niệm và việc học có ý nghĩa. Nghiên cứu của Neo và cộng sự [45] đã chỉ ra rằng các hoạt động mà học sinh thực hiện trong thế giới thực sự là hiệu quả trong việc giảng dạy và thúc đẩy sự tham gia của học sinh trong lớp học cũng như tăng cường sự hiểu biết của họ về nội dung môn học. Ngoài ra, nghiên cứu của Hynes và cộng sự [37] cho thấy quá trình thiết kế kỹ thuật tập trung vào việc tìm giải pháp và xây dựng mô hình nguyên mẫu thúc đẩy học sinh đối mặt với quá trình tư duy sáng tạo và tư duy phản biện cũng như kỹ năng giải quyết vấn đề. Từ đó các tác giả đề xuất một hướng dẫn về quy trình thiết kế kỹ thuật như một khung giảng dạy các môn STEM cho học sinh trung học [37].

Gần đây, Đặng Đông Phương và cộng sự [46] đã trình bày tiến trình dạy học một chủ đề

STEM lĩnh vực robotics cho học sinh lớp 8 theo quy trình thiết kế kỹ thuật gồm 6 bước: đặt vấn đề; Hình dung vấn đề; Lập kế hoạch; Chế tạo sản phẩm; Thử nghiệm sản phẩm; Cải tiến sản phẩm. Kết quả thực nghiệm sư phạm chủ đề trong 10 tiết với 15 học sinh lớp 8 cho thấy năng lực giải quyết vấn đề của học sinh được bồi dưỡng, phát triển và thể hiện trong suốt quá trình nghiên cứu kiến thức, thiết kế và chế tạo robot hút bụi. Ngoài ra, chủ đề tạo được sự hứng thú, tò mò của học sinh trong lĩnh vực robotics và tiến trình tổ chức dạy học mang tính khả thi.

5.3. Vai trò của tư duy sáng tạo trong thiết kế kỹ thuật

Tư duy sáng tạo là một phần không thể thiếu trong quá trình thiết kế kỹ thuật [37, 43, 47], bởi nếu không có tư duy sáng tạo trong thiết kế thì sẽ không có cơ hội cho các giải pháp và sản phẩm đổi mới nơi các ý tưởng mới được triển khai, đặc biệt là trong lớp học. Tính sáng tạo có ảnh hưởng lớn đến các giải pháp hoặc sản phẩm được phát triển cho những thách thức về thiết kế. Hơn nữa, thách thức được đặt ra trong quá trình thiết kế kỹ thuật cần phải có tính mở để tạo điều kiện thuận lợi cho một môi trường học tập sáng tạo. Quá trình thiết kế mang lại cơ hội đặc biệt cho học sinh sử dụng tư duy sáng tạo do tính "mở" của các thách thức [48]. Nếu chỉ tập trung vào giải pháp đúng thì sự độc đáo và sáng tạo của học sinh có thể bị triệt tiêu [49].

Trong quá trình thiết kế kỹ thuật, các kỹ sư cần áp dụng khả năng tư duy sáng tạo của họ vào một vấn đề cụ thể và đưa ra nhiều cách hoặc khả năng khác nhau để giải quyết vấn đề thiết kế [47]. Tư duy sáng tạo giúp các kỹ sư đối mặt với sự phức tạp, giúp tạo ra kiến thức mới, tìm ra những giải pháp mới cho các vấn đề, tham gia vào các hoạt động đổi mới về công nghệ và dẫn đến những thiết kế mới [50]. Nhiều tác giả khẳng định rằng việc phát huy tư duy sáng tạo phải là một trong những mục tiêu chính của giáo dục kỹ thuật [50]. Đó là một kỹ năng quan trọng mà học sinh học kỹ thuật cần có, vì nó thiết yếu trong thực hành kỹ thuật và do đó phải là một phần của quá trình giáo dục

kỹ thuật. Giáo dục kỹ thuật cần khuyến khích học sinh trở thành những người có tư duy sáng tạo để phát huy di sản sáng tạo kỹ thuật.

5.4. Khuyến khích tư duy sáng tạo của học sinh trong giáo dục STEM thông qua học tập dựa trên thiết kế

Không ít nghiên cứu đã chứng minh rằng việc tích hợp giáo dục STEM vào quá trình thiết kế kỹ thuật có thể cải thiện tư duy sáng tạo cho người học [35, 43, 51, 52]. Trong một nghiên cứu tìm hiểu tư duy sáng tạo được thể hiện trong các bước phát triển giải pháp của học tập dựa trên thiết kế trong giáo dục STEM, học sinh trung học cơ sở tham gia vào 3 hoạt động học tập dựa trên thiết kế khác nhau. Phân tích số liệu thu được từ các bài viết, vẽ, phỏng vấn học sinh và ghi chép của các nhà nghiên cứu được thực hiện thông qua hai phương pháp riêng biệt: Phân tích mô tả được sử dụng để phân tích định lượng bài viết của học sinh và tìm hiểu đặc tính thành thạo, linh hoạt, độc đáo và chi tiết của khái niệm sáng tạo; và phân tích nội dung được sử dụng để phân tích định tính các bài phỏng vấn và ghi chép của nhà nghiên cứu. Kết quả là học sinh thể hiện tần suất cao nhất ở tính linh hoạt và thấp nhất ở tính độc đáo trong khái niệm sáng tạo. Các kết quả phân tích định tính cũng cho thấy sự phát triển các ý tưởng sáng tạo của học sinh là do sự tiếp xúc với các ý tưởng của các bạn học khác, mức độ quen thuộc với quy trình học tập dựa trên thiết kế và việc học sinh phải tạo ra một mô hình nguyên mẫu từ ý tưởng của họ [51].

Sáng tạo có thể và nên đóng một vai trò quan trọng trong các trải nghiệm khoa học của học sinh. Beghetto [53] đã đề xuất một quy trình dành cho giáo viên để hỗ trợ học sinh chuyển đổi ý tưởng sáng tạo của họ thành sản phẩm. Quy trình này bao gồm việc dành thời gian lắng nghe ý tưởng của học sinh, giúp họ nhận ra những hạn chế của một nhiệm vụ, và tạo cơ hội cho các em suy nghĩ và thử nghiệm ý tưởng của mình. Các vấn đề không có cấu trúc rõ ràng như những vấn đề trong các hoạt động nghiên cứu và thiết kế kỹ thuật cung cấp cơ hội tuyệt vời cho học sinh trải nghiệm quá trình sáng tạo và thể hiện tư duy sáng tạo của họ

thông qua việc tạo ra sản phẩm. Loại vấn đề này thường khó khăn, nhưng việc sử dụng các câu hỏi thích hợp đã được chứng minh là hỗ trợ học sinh giải quyết vấn đề. Hathcock và cộng sự [35] đã nghiên cứu tác động của chiến lược đặt câu hỏi nghiên cứu đến tư duy sáng tạo trong học tập dựa trên thiết kế STEM. Các hoạt động thiết kế STEM được thực hiện trên cả hai nhóm thực nghiệm và đối chứng ngoài ra ở nhóm thực nghiệm, chiến lược đặt câu hỏi nghiên cứu cũng được kết hợp sử dụng. Kết quả cho thấy nhóm được hỗ trợ bằng các chiến lược đặt câu hỏi nghiên cứu có khả năng giải quyết một vấn đề không có cấu trúc tốt hơn và đạt được một tiến triển tuyến tính hơn đối với sản phẩm sáng tạo so với nhóm không được hỗ trợ bằng câu hỏi nghiên cứu. Trên cơ sở đó, các tác giả đã kết luận rằng sự hỗ trợ của giáo viên thông qua việc đặt câu hỏi rất quan trọng để phát triển ý tưởng sáng tạo.

Trong một nghiên cứu áp dụng tiếp cận dạy học STEM thông qua quá trình Thiết kế Kỹ thuật (STEM-EDP), trải nghiệm học tập của học sinh trung học phổ thông ở nông thôn Malaysia đã được đánh giá [43]. Tổng số 89 học sinh tham gia thiết kế và xây dựng ba mô hình khác nhau thuộc chương trình thách thức tiếp cận cộng đồng cũng như trả lời các câu hỏi tư duy bậc cao. Kết quả là tiếp cận dạy học STEM-EDP không chỉ giúp học sinh học và tích hợp kiến thức STEM mà còn tăng cơ hội phát triển tư duy sáng tạo, tư duy phê phán, và kỹ năng giải quyết vấn đề. Tư duy sáng tạo và tư duy phê phán của học sinh được kích thích thông qua việc trả lời các câu hỏi khó và giải quyết các vấn đề không được định nghĩa một cách rõ ràng được đặt ra trong các hoạt động STEM. Học sinh có thể phản ứng hiệu quả ngay cả trong điều kiện hạn chế về vật liệu và thời gian để suy nghĩ và chọn ra giải pháp tốt nhất cho mô hình nguyên mẫu của họ bằng cách sử dụng các khái niệm khoa học có liên quan. Siew và cộng sự [43] gợi ý rằng tiếp cận STEM-EDP có thể được áp dụng như một phương pháp để khuyến khích tư duy sáng tạo, kỹ năng giải quyết vấn đề và kỹ năng tư duy ở học sinh trung học phổ thông ở nông thôn.

Sáng tạo đóng một vai trò quan trọng trong nhiều quy trình khoa học tuy nhiên việc xác định và đo lường tư duy sáng tạo khá khó khăn. Với mục tiêu nâng cao tư duy sáng tạo của học sinh thông qua các chương trình giáo dục cụ thể, một chương trình thiết kế khoa học, công nghệ, kỹ thuật, nghệ thuật, toán học (STEAM) đã được phát triển để nhằm tăng cường tư duy sáng tạo cả về ngôn ngữ và hình ảnh cho học sinh trung học cơ sở [52]. Chương trình này đã được áp dụng vào thực nghiệm trên một nhóm tác động ($n=34$) trong khi nhóm kiểm soát ($n=34$) được giảng dạy dựa trên chương trình khoa học và sách giáo trình khoa học. Chính hoạt động thiết kế STEAM khác nhau đã được phát triển đối với nhóm tác động. Dữ liệu được thu thập thông qua bài kiểm tra Tư duy Sáng tạo của Torrance cho thấy nhóm tác động đạt được điểm cao hơn ở cả tư duy sáng tạo về ngôn ngữ và hình ảnh. Dựa vào kết quả đó các tác giả đã khẳng định tác động tích cực của tiếp cận học tập dựa trên thiết kế STEAM đến tư duy sáng tạo của người học và đưa ra đề xuất về việc triển khai tiếp cận này.

Biçer và cộng sự [54] tiến hành một nghiên cứu với 95 học sinh trung học trong lớp học và giờ ngoại khóa. Trong nghiên cứu này, học sinh tạo ra các thiết kế 3D với sự trợ giúp của máy tính bằng quy trình thiết kế kỹ thuật, và các nhà nghiên cứu kiểm tra nhận thức của học sinh về sự cần thiết của tư duy sáng tạo trong STEM. Họ sử dụng một cuộc khảo sát có cấu trúc như một công cụ thu thập dữ liệu và phát hiện rằng sự thay đổi trong nhận thức của học sinh về sự cần thiết của tư duy sáng tạo trong STEM có ý nghĩa thống kê.

Sáng tạo là một mục tiêu quan trọng trong học tập ở thế kỷ 21. Tuy nhiên, giáo viên thường gặp khó khăn trong việc khuyến khích tư duy sáng tạo trong lớp học của họ. Nghiên cứu về tư duy sáng tạo cho thấy hành động tạo ra các sản phẩm thực tế có thể nâng cao việc giảng dạy về tư duy sáng tạo. Các bài học thiết kế kỹ thuật thực tế là bối cảnh lý tưởng để nghiên cứu hiệu ứng này. Thông qua tìm hiểu một chương trình khoa học ngoại khóa về thiết kế kỹ thuật, nghiên cứu của Lasky và Yoon [2] đã tiết lộ những niềm tin và mong đợi của giáo

viên về tư duy sáng tạo của học sinh và cách thức xây dựng những môi trường lớp học có thể nuôi dưỡng tư duy sáng tạo. Niềm tin của giáo viên nảy sinh ở ba cách: tạo không gian cho tư duy sáng tạo trong lớp học của họ, nhận ra tư duy sáng tạo ở học sinh của họ và hiểu mối liên kết giữa các hoạt động thực tế và tư duy sáng tạo trong bối cảnh của thiết kế kỹ thuật. Nghiên cứu này đã giúp các giáo viên nhận ra rằng các dự án học tập dựa trên thiết kế ngoại khóa có thể được sử dụng để phát triển kỹ năng tư duy sáng tạo trong trường học.

6. Kết luận

Bài báo này đã tập trung làm rõ khái niệm về tư duy sáng tạo là việc đưa ra và thể hiện những ý tưởng mới mẻ, độc đáo và có giá trị để giải quyết những vấn đề đặt ra. Tư duy sáng tạo có 4 đặc điểm cơ bản, đó là: tính thành thực, linh hoạt, độc đáo và phong phú. Đây cũng chính là bốn tiêu chí cơ bản để đánh giá mức độ sáng tạo của các sản phẩm thuộc nhiều lĩnh vực khác nhau. Ý thức rõ về tầm quan trọng của tư duy sáng tạo trong thế giới đầy biến động, giáo dục tư duy sáng tạo đã được tích hợp vào chương trình giáo dục phổ thông. Sáng tạo là một kỹ năng quan trọng của thế kỷ 21 và đã trở thành mục tiêu quan trọng của chương trình giáo dục phổ thông năm 2018 ở Việt Nam. Bản chất liên ngành của STEM (khoa học, công nghệ, kỹ thuật và toán), dựa trên sự tích hợp của 4 lĩnh vực môn học giúp học sinh áp dụng các kiến thức từ các góc độ khác nhau để tạo ra giải pháp cho một tình huống/sản phẩm mới. Bằng cách đó, giáo dục STEM sẽ có đủ tiềm năng để phát triển tính sáng tạo của người học.

Học tập dựa trên thiết kế là một trong những tiếp cận dạy học mang lại cơ hội cao cho người học thể hiện tư duy sáng tạo. Đây là một tiếp cận dạy học được xây dựng dựa trên sự tích hợp quá trình thiết kế của các kỹ sư vào lớp học để giải quyết các vấn đề thực tế, cho phép chuyển giao những kiến thức, kỹ năng về khoa học và công nghệ vào những vấn đề phức tạp trong thực tiễn cuộc sống. Quy trình thiết kế kỹ thuật được thực hiện theo 5 bước cơ bản: xác

định vấn đề, phát triển giải pháp, lựa chọn giải pháp tốt nhất, tạo ra nguyên mẫu và thử nghiệm giải pháp và truyền thông để chia sẻ những kinh nghiệm và kết quả thiết kế kỹ thuật. Sáng tạo là một phần không thể thiếu trong quá trình thiết kế kỹ thuật bởi lẽ tư duy sáng tạo đóng vai trò quan trọng trong việc phát triển sản phẩm hoặc giải pháp cho các thách thức thiết kế do đó phát triển tư duy sáng tạo phải trở thành thiết yếu trong quá trình giáo dục kỹ thuật.

Không ít nghiên cứu đã chỉ ra rằng tích hợp giáo dục STEM vào quá trình thiết kế kỹ thuật có thể cải thiện tư duy sáng tạo của học sinh. Các nghiên cứu này đã chỉ ra rằng, quá trình thiết kế kỹ thuật tích hợp STEM đã tác động một cách có ý nghĩa đến các khái niệm thành phần của tư duy sáng tạo (tính linh hoạt, độc đáo,...), sự phát triển các ý tưởng sáng tạo, mức độ sáng tạo thể hiện trong các sản phẩm, lựa chọn giải pháp cho các mô hình nguyên mẫu, tư duy sáng tạo về mặt ngôn ngữ và hình ảnh cũng như sự thay đổi trong nhận thức của người học về sự cần thiết của sáng tạo trong giáo dục STEM. Ngoài ra, các nhà nghiên cứu còn nhận thấy việc tổ chức các chương trình khoa học ngoại khóa về thiết kế kỹ thuật có thể phát triển kỹ năng tư duy sáng tạo cho học sinh. Việc tổng hợp các nghiên cứu về giáo dục STEM thông qua học tập dựa trên thiết kế và tác động của nó đối với sự phát triển tư duy sáng tạo của người học sẽ đưa ra những ý tưởng và hướng dẫn đối với giáo viên trong quá trình tổ chức dạy học STEM nhằm đáp ứng mục tiêu phát triển tư duy sáng tạo cho những công dân tương lai.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Bách khoa Hà Nội trong đề tài mã số T2022-PC-064.

Tài liệu tham khảo

- [1] R. A. Beghetto, "Teaching creative thinking in K12 schools," The Routledge international

- handbook of research on teaching thinking, pp. 201-211, 2015.
- [2] D. Lasky and S. A. Yoon, "Making Space for the Act of Making: Creativity in the Engineering Design Classroom," *Science Educator*, vol. 20, no. 1, pp. 34-43, 2011.
- [3] D. K. Kress and A. C. Rule, "Fifth graders' creativity in inventions with and without creative articulation instruction," *Journal of STEM Arts, Crafts, and Constructions*, vol. 2, no. 2, p. 7, 2017.
- [4] H.-C. Kuo, Y.-C. Tseng, and Y.-T. C. Yang, "Promoting college student's learning motivation and creativity through a STEM interdisciplinary PBL human-computer interaction system design and development course," *Thinking Skills and Creativity*, vol. 31, pp. 1-10, 2019/03/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.09.001>.
- [5] N. R. Council, *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press, 2012.
- [6] P. Adams Ph D, *Next Generation Science Standards*. The National Academies Press Washington, D.C, 2013.
- [7] R. A. Beghetto, "Ideational code-switching: Walking the talk about supporting student creativity in the classroom," *Roeper Review*, vol. 29, no. 4, pp. 265-270, 2007.
- [8] L. M. Marin and D. F. Halpern, "Pedagogy for developing critical thinking in adolescents: Explicit instruction produces greatest gains," *Thinking skills and creativity*, vol. 6, no. 1, pp. 1-13, 2011.
- [9] J. Y. Lau, *An introduction to critical thinking and creativity: Think more, think better*. John Wiley & Sons, 2011.
- [10] M. F. Cheung and C. S. Wong, "Transformational leadership, leader support, and employee creativity," *Leadership & Organization Development Journal*, vol. 32, no. 7, pp. 656-672, 2011.
- [11] P. Sarkar and A. Chakrabarti, "Assessing design creativity," *Design studies*, vol. 32, no. 4, pp. 348-383, 2011.
- [12] R. J. Marzano, *A different kind of classroom: Teaching with dimensions of learning*. ERIC, 1992.
- [13] J. P. Guilford, *The nature of human intelligence*. McGraw-Hill, 1967.
- [14] E. P. Torrance, "Torrance tests of creative thinking," *Educational and Psychological Measurement*, 1966, doi: <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/t05532-000>.
- [15] P. T. Nghi, *Textbook of Creative Psychology* National University Publishing House, 2012 (in Vietnamese).
- [16] A. J. Cropley, *More ways than one: Fostering creativity in the classroom*. Bloomsbury Publishing USA, 1992.
- [17] R. J. Sternberg, *Wisdom, intelligence, and creativity synthesized*. Cambridge University Press, 2003.
- [18] A. J. Starko, *Creativity in the classroom: Schools of curious delight*. Routledge, 2021.
- [19] D. Jindal-Snape, D. Davies, C. Collier, A. Howe, R. Digby, and P. Hay, "The impact of creative learning environments on learners: A systematic literature review," *Improving schools*, vol. 16, no. 1, pp. 21-31, 2013.
- [20] J. C. Kaufman, J. A. Plucker, and J. Baer, *Essentials of creativity assessment*. John Wiley & Sons, 2008.
- [21] R. Horowitz, "Creative problem solving in engineering design," PhD. diss., Tel-Aviv University, 1999.
- [22] S. Tan, "Assessing creative problem solving ability in mathematics: Revising the scoring system of the DISCOVER mathematics assessment," *The University of Arizona*, 2015.
- [23] I.-A. N. Diakidoy and C. P. Constantinou, "Creativity in physics: Response fluency and task specificity," *Creativity Research Journal*, vol. 13, no. 3-4, pp. 401-410, 2001.
- [24] N. T. V. A. N. V. Bien, D. V. Son, N. T. T. Khuyen, , "Developing Tools for Assessing Creative Capacity in Technical Design in STEM Education, *Journal of Science*," *Hanoi University of Education*, , vol. 65, no. 1, pp. 151-162, 2020 (in Vietnamese).
- [25] T. M. Amabile, "Social psychology of creativity: A consensual assessment technique," *Journal of personality and social psychology*, vol. 43, no. 5, p. 997, 1982.
- [26] J. M. Shaughnessy, "Mathematics in a STEM context," *Mathematics Teaching in the Middle school*, vol. 18, no. 6, pp. 324-324, 2013.
- [27] A. Harris and L. De Bruin, "An international study of creative pedagogies in practice in secondary schools: Toward a creative ecology," *Journal of Curriculum and Pedagogy*, vol. 15, no. 2, pp. 215-235, 2018.
- [28] D. Henriksen, "Full STEAM ahead: Creativity in excellent STEM teaching practices," *The STEAM journal*, vol. 1, no. 2, p. 15, 2014.
- [29] J. Nemiro, C. Larriva, and M. Jawaharlal, "Developing creative behavior in elementary school students with robotics," *The Journal of Creative Behavior*, vol. 51, no. 1, pp. 70-90, 2017.
- [30] B. hee Kim and J. Kim, "Development and validation of evaluation indicators for teaching competency in STEAM education in Korea,"

- Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, vol. 12, no. 7, pp. 1909-1924, 2016.
- [31] S. A. Azizan and N. Abu Shamsi, "Design-based learning as a pedagogical approach in an online learning environment for science undergraduate students," in *Frontiers in Education*, 2022, vol. 7: Frontiers, p. 860097.
- [32] A. L. Felix, J. Z. Bandstra, and W. H. Strosnider, "Design-Based science for STEM student recruitment and teacher professional development," in *Mid-Atlantic ASEE Conference*, Villanova University, 2010.
- [33] T. J. Moore, M. S. Stohlmann, H. H. Wang, K. M. Tank, A. W. Glancy, and G. H. Roehrig, "Implementation and integration of engineering in K-12 STEM education," in *Engineering in pre-college settings: Synthesizing research, policy, and practices*: Purdue University Press, 2014, pp. 35-60.
- [34] A. Jolly, *STEM by design: Strategies and activities for grades 4-8*. Routledge, 2016.
- [35] S. J. Hathcock, D. L. Dickerson, A. Eckhoff, and P. Katsioloudis, "Scaffolding for creative product possibilities in a design-based STEM activity," *Research in science education*, vol. 45, pp. 727-748, 2015.
- [36] D. Crismond, "Learning and using science ideas when doing investigate-and-redesign tasks: A study of naive, novice, and expert designers doing constrained and scaffolded design work," *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, vol. 38, no. 7, pp. 791-820, 2001.
- [37] M. M. Hynes et al., "Infusing Engineering Design into High School STEM Courses," in *National Center For Engineering and Technology Education*, 2011.
- [38] D. Massachusetts, "Massachusetts science and technology/engineering curriculum framework," Malden: Massachusetts Department of Education, 2006.
- [39] E. Brunsell, *Integrating engineering and science in your classroom*. NSTA press, 2012.
- [40] C. D. Denson, J. K. Buelin, M. D. Lammi, and S. D'Amico, "Developing Instrumentation for Assessing Creativity in Engineering Design," *Journal of Technology Education*, vol. 27, no. 1, pp. 23-40, 2015.
- [41] C.-S. Lee and J. L. Kolodner, "Scaffolding students' development of creative design skills: A curriculum reference model," *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 14, no. 1, pp. 3-15, 2011.
- [42] N. Mentzer, "High school engineering and technology education integration through design challenges," *Journal of STEM Teacher Education*, vol. 48, no. 2, p. 7, 2011.
- [43] N. M. Siew, H. Goh, and F. Sulaiman, "Integrating STEM in an engineering design process: The learning experience of rural secondary school students in an outreach challenge program," *Journal of Baltic Science Education*, vol. 15, no. 4, p. 477, 2016.
- [44] P. Lottero-Perdue, "Running head: The engineering design process, responses to failure," ed: Towson University. Presented at NARST, 2015.
- [45] M. Neo, K. T.-K. Neo, and H. Y.-J. Tan, "Applying Authentic Learning Strategies in a Multimedia and Web Learning Environment (MWLE): Malaysian Students' Perspective," *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, vol. 11, no. 3, pp. 50-60, 2012.
- [46] V. Q. T. D. D. Phuong, N. D. Anh, "Designing Organizational Structure for Teaching STEM Topic: Simple Vacuum Cleaning Robot According to Engineering Design Process for Middle School Students," *Scientific Journal*, vol. 18, no. 8, p. 1495 (in Vietnamese), 2021.
- [47] Y. Tekmen-Araci and L. Mann, "Instructor approaches to creativity in engineering design education," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 233, no. 2, pp. 395-402, 2019.
- [48] D. Cropley and A. Cropley, "Recognizing and fostering creativity in technological design education," *International Journal of Technology and Design Education*, vol. 20, pp. 345-358, 2010.
- [49] C. Chin, "Promoting higher cognitive learning in science through a problem-solving approach," 1997: National Institute of Education (Singapore) pp. 7-11.
- [50] C. Zhou, "Teaching engineering students creativity: A review of applied strategies," *Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science*, vol. 5, no. 2, pp. 99-114, 2012, doi: <http://dx.doi.org/10.7160/eriesj.2012.050205>.
- [51] E. Bozkurt Altan and S. Tan, "Concepts of creativity in design based learning in STEM education," *International Journal of Technology and Design Education*, vol. 31, no. 3, pp. 503-529, 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09569-y>.
- [52] G. Ozkan and U. Umdu Topsakal, "Exploring the effectiveness of STEAM design processes on middle school students' creativity," *International*

- Journal of Technology and Design Education, vol. 31, no. 1, pp. 95-116, 2021.
- [53] R. A. Beghetto, "Ideational code-switching: Walking the talk about supporting student creativity in the classroom," *Roeper Review*, vol. 29, no. 4, p. 265, 2007.
- [54] A. Bicer, S. B. Nite, R. M. Capraro, L. R. Barroso, M. M. Capraro, and Y. Lee, "Moving from STEM to STEAM: The effects of informal STEM learning on students' creativity and problem solving skills with 3D printing," in *2017 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2017: IEEE, pp. 1-6.