

# Đánh giá sơ bộ tác động môi trường và hiệu quả của công nghệ tái chế chất thải nhựa thành vật liệu xây dựng bằng kỹ thuật đánh giá vòng đời (LCA)

## Preliminary assessment of environmental impacts and efficiency of plastic waste recycling technology into building materials using LCA technique

Nguyễn Thị Thủy Ngân<sup>1</sup>, Phạm Thị Anh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

\*Email liên hệ: thianh.pham@ut.edu.vn

### Tóm tắt:

Nghiên cứu sử dụng kỹ thuật LCA và phần mềm SimaPro để tính toán các tác động môi trường của quá trình tái chế chất thải nhựa thành vật liệu xây dựng. Kết quả tính toán cho thấy phần lớn các tác động đều ảnh hưởng đến môi trường ở mức gần bằng 0 đối với nhóm tác động: Cạn kiệt nguồn tài nguyên thiên nhiên, cạn kiệt nguồn nhiên liệu hóa thạch, cạn kiệt ozon; độc tính cho hệ sinh thái trên cạn, oxy hóa quang hóa trong môi trường. Một vài chỉ tiêu đánh giá tác động tiêu cực có giá trị lớn hơn 0 như: Nóng lên toàn cầu, axit hóa, độc tính trên người, độc tính cho hệ sinh thái nước ngọt hay hệ sinh thái biển và phú dưỡng hóa. Kết quả tính toán chung chỉ ra rằng tái chế chất thải nhựa thành vật liệu là một trong những giải pháp tái chế hiệu quả, tác động đến môi trường ở mức độ rất thấp so với hiệu quả của kỹ thuật này mang lại về mặt kinh tế, xã hội và tài nguyên.

**Từ khoá:** Đánh giá vòng đời; SimaPro; chất thải nhựa; vật liệu xây dựng.

### Abstract:

The study used LCA technique and SimaPro software to calculate the environmental impacts of recycling plastic waste into building materials. From the calculation results, it has been shown that most of the impacts from the production of roof tiles from plastic waste have an impact on the environment at a level close to zero. The considered impacts include exhaustion of natural resources, depletion of fossil fuels, depletion of ozone; toxicity to terrestrial ecosystems, photo-oxidation in the environment. There are a few negative impact criteria with values greater than zero, such as global warming, acidification, toxicity in humans, possibly toxicity to the ecosystem, freshwater or marine ecosystems, and eutrophication. The general calculation results show that recycling plastic waste into materials is one of the effective recycling solutions, with a very low impact on the environment compared to the efficiency of this technique in terms of economy, society, and resources.

**Key words:** Life cycle assessment (or LCA); SimaPro; plastic waste; construction material.

### 1. Giới thiệu

Hiện nay, các sản phẩm, mặt hàng từ nhựa được sản xuất, sử dụng rất phổ biến ở mọi ngành nghề và ở khắp mọi nơi do sự tiện lợi của chúng. Điều này cũng gây hậu quả nghiêm trọng cho môi trường. Trên thế giới, mỗi phút có 1 triệu chai

nước uống bằng nhựa và khoảng 5000 tỷ túi nhựa dùng một lần được sử dụng – khoảng một nửa số nhựa được sản xuất chỉ để sử dụng một lần và sau đó thải bỏ [1].

Vào năm 1950, thế giới chỉ sản xuất được 2 triệu tấn nhựa mỗi năm. Từ đó, sản lượng nhựa

hàng năm đã tăng gần 200 lần, đạt 380 triệu tấn vào năm 2015 [2]. Con số này gần tương đương 2/3 dân số thế giới [3]. R. Geyer và cộng sự [2], cũng cho biết sản lượng nhựa tích lũy toàn cầu từ năm 1950 - 2015 đạt 7,8 tỷ tấn, tương đương hơn 1 tấn nhựa/người hiện nay. Mỗi năm có khoảng 8 triệu tấn nhựa thải đổ ra các đại dương trên thế giới, một lượng lớn trong số này đến từ các con sông [4]. Rác thải nhựa dù ở sông, đại dương hay trên đất liền, chúng đều có thể tồn tại trong môi trường hàng thế kỷ. Nếu tiếp tục xu hướng như hiện nay, các đại dương có thể chứa nhiều nhựa hơn cá vào năm 2050 [5].

Nhựa bị thải ra môi trường và đại dương được thống kê phần lớn đến từ châu Á. Việt Nam (1,83 triệu tấn/năm) đứng thứ tư trong danh sách các nước thải nhựa ra biển nhiều nhất, chỉ sau Trung Quốc (8,82 triệu tấn/năm), Indonesia (3,22 triệu tấn/năm) và Philippines (1,88 triệu tấn/năm) [5].

Tại Việt Nam, chỉ số tiêu thụ nhựa trên đầu người tăng nhanh từ 3,8kg/năm/người vào năm 1990 lên 54 kg/năm/người vào năm 2018 [6]. Theo Bộ Tài nguyên và Môi trường (2019), chỉ tính riêng Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh, mỗi ngày đã thải ra môi trường khoảng 80 tấn nhựa và túi nilon. Riêng Hà Nội, thải ra 4.000 - 5.000 tấn rác mỗi ngày, trong đó rác thải nilon chiếm 7 - 8%. Điều đáng lưu ý là việc phân loại, thu hồi và xử lý rác thải tại Việt Nam còn rất hạn chế. Lượng chất thải nhựa và túi nilon ở Việt Nam vẫn ở mức rất cao, chiếm khoảng 8 - 12% chất thải rắn sinh hoạt [7].

Các phương pháp xử lý rác thải nhựa đã có sự thay đổi theo thời gian. Trước năm 1980, việc tái chế và đốt nhựa là không đáng kể, gần như 100% nhựa bị thải bỏ. Tỷ lệ tái chế nhựa và đốt toàn cầu đã tăng 0,7% mỗi năm từ năm 1990 - 2014 [2]. Tái chế chất thải nhựa giúp làm giảm lượng chất thải nhựa cần xử lý, giảm áp lực đối với vật liệu nguyên sinh và giảm tiêu thụ năng lượng,... Tuy nhiên, tỷ lệ chất thải nhựa được tái chế còn thấp, phần lớn nằm trong các bãi chôn lấp và môi trường tự nhiên. Tại Việt Nam chưa có một hệ thống tái chế chất thải nhựa thật sự rộng rãi và

đạt hiệu quả, hầu hết các cơ sở tái chế đều là những cơ sở nhỏ lẻ, tự phát hoặc các làng nghề ở quy mô hộ gia đình đã có từ lâu và công nghệ sản xuất mang tính thủ công, chưa có biện pháp kiểm soát chất thải dẫn đến gây ô nhiễm môi trường. Nhựa có đặc tính chắc, bền, chống nước, nhẹ, dễ đúc khuôn và tái chế được, nói cách khác nhựa có mọi đặc tính quan trọng của các vật liệu xây dựng. Theo Awoyera và cộng sự, việc sử dụng chất thải nhựa cho các ứng dụng xây dựng cải thiện đáng kể về mặt môi trường và là một nguyên vật liệu đáng tin cậy cho các mục đích xây dựng. Một số ứng dụng của chất thải nhựa cho mục đích xây dựng như: Cốt liệu trong vật liệu tổng hợp gốc xi măng giúp giảm khai thác cốt liệu tự nhiên, kết hợp với gỗ để tạo thành các tấm cửa thân thiện môi trường; vật liệu cách nhiệt; tường ngăn và gạch[8][9]. Tuy nhiên, tái chế chất thải nhựa thành vật liệu xây dựng còn khá mới mẻ tại Việt Nam, nên hiện nay các cơ sở tái chế này cũng rất ít.

Phương pháp đánh giá vòng đời (Life Cycle Assessment -LCA) đã được sử dụng rộng rãi trên thế giới để đánh giá tác động và hiệu quả của các phương pháp xử lý chất thải nhựa, từ đó đưa ra phương pháp xử lý ít tác động môi trường và hiệu quả nhất. Phần lớn các nghiên cứu về đánh giá vòng đời (LCA) so sánh việc tái chế nhựa với các phương án quản lý chất thải khác đã đưa ra kết quả tích cực, với việc giảm đáng kể các tác động đến môi trường [8][10]-[11]. LCA giúp mô hình hóa các dòng vật chất, năng lượng và nguồn tài nguyên, chất thải rắn và khí thải của toàn bộ hệ thống. Giúp xác định được các vấn đề môi trường cần khắc phục trong hệ thống, xác định khả năng cải thiện môi trường khi thực hiện bất kỳ sự thay đổi, cải tiến nào. LCA giúp các nhà quản lý đánh giá các vấn đề ô nhiễm một cách toàn diện hơn. Phương pháp đã được sử dụng để đánh giá các công nghệ tái chế chất thải như nhiệt phân lớp xe cao su phế thải thành năng lượng [12], hoặc tái chế chất thải nhựa thành năng lượng [13]-[17]. Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp đánh giá vòng đời (Life Cycle Assessment -LCA) và phần mềm SimaPro để tính toán các tác

động môi trường quá trình tái chế chất thải nhựa thành vật liệu xây dựng. Quá trình tái chế chất thải nhựa được thực hiện bằng việc phối trộn nhựa thải dân dụng và công nghiệp (nhựa PP) với trấu, sản phẩm tạo thành là ngói lợp nhà. Sản phẩm đã được thử nghiệm thành công dựa trên công nghệ tái chế chất thải nhựa thành vật liệu xây dựng của công ty Trách nhiệm hữu hạn Sản xuất xây dựng Trọng Danh, Long An. Đồng thời, để đánh giá hiệu quả của quá trình tái chế này, nhóm nghiên cứu cũng đã so sánh với ngói lợp từ đất sét.

## 2. Vật liệu và phương pháp thực hiện

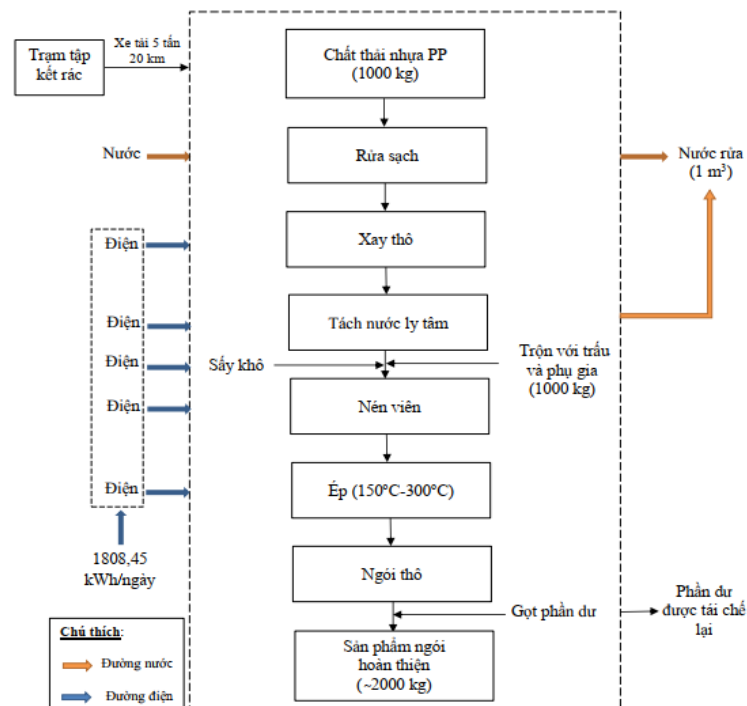
Phương pháp đánh giá vòng đời (LCA) đã được chấp nhận rộng rãi để đánh giá tác động môi trường của các sản phẩm, quá trình và dịch vụ. Phương pháp này đánh giá một cách tổng thể các hậu quả môi trường của một hệ thống sản phẩm bằng cách định lượng năng lượng và vật liệu được sử dụng, chất thải thải ra môi trường và đánh giá các tác động môi trường tiềm ẩn của năng lượng, vật liệu và chất thải đó [16], bao gồm bốn bước cơ bản: Xác định mục tiêu và phạm vi, phân tích kiểm kê, đánh giá tác động và diễn giải kết quả.

### 2.1. Xác định mục tiêu và phạm vi

Mục tiêu chung của nghiên cứu là định lượng tác động môi trường và hiệu quả của công nghệ tái chế chất thải nhựa thành vật liệu xây dựng, nhằm cung cấp thông tin sơ bộ về giải pháp xử lý chất thải nhựa hiệu quả, thân thiện với môi trường. Nhựa Polypropylene (nhựa PP) là một loại nhựa nhiệt dẻo tinh thể, cứng có màu trắng trong suốt và được sử dụng rộng rãi trong các vật dụng hàng ngày như đồ gia dụng, hộp đựng, ly nước,... Phạm vi đánh giá vòng đời được giới hạn từ lúc sản phẩm nhựa PP bị thải bỏ đến khi tái chế thành ngói lợp. 1000 kg nhựa PP được xác định là đơn vị chức năng. Sản phẩm ngói tạo thành có khối lượng 1,6 kg với kích thước 410 x 330 x 54 mm. Quy trình công nghệ tái chế được thể hiện trong hình 1.

### 2.2. Phân tích kiểm kê vòng đời

Phân tích kiểm kê là quá trình phức tạp nhất trong số các bước, vì cần phải thu thập, định lượng và phân tích dữ liệu đầu vào, đầu ra liên quan đến quá trình vòng đời. Kiểm kê dữ liệu đầu vào, đầu ra của quá trình nghiên cứu được thể hiện như hình 1. Phần dư sau công đoạn gọt là không đáng kể, nên xem như khối lượng sản phẩm ngói tạo thành là 2000 kg.



Hình 1. Quy trình tái chế chất thải nhựa thành vật liệu xây dựng.

### 2.3. Đánh giá tác động môi trường bằng phần mềm SimaPro

Đánh giá tác động nhằm mục đích hiểu và đánh giá mức độ của tác động môi trường tiềm ẩn thuộc hệ thống sản phẩm đối với từng quá trình và từng loại tác động đã chọn. Theo đó, tác động môi trường của quá trình tái chế chất thải nhựa PP thành ngói lợp được tính toán thông qua phần mềm SimaPro 9.1 phân tích 11 chỉ tiêu đánh giá bằng công cụ CML: Cạn kiệt tài nguyên (Abiotic depletion); cạn kiệt nhiên liệu hóa thạch (Abiotic depletion – fossil); nóng lên toàn cầu (Global warming); suy giảm tầng ozon (Ozone layer depletion); độc tính cho con người (Human toxicity); độc tính cho thủy sinh nước ngọt (Fresh water aquatic ecotoxicity); độc tính cho thủy sinh nước mặn (Marine aquatic ecotoxicity); độc tính sinh thái trên cạn (Terrestrial ecotoxicity); oxi hóa quang hóa (Photochemical oxidation); axit hóa (Acidification) và phú dưỡng hóa (Eutrophication).

Chuẩn bị dữ liệu:

- *Avoided product (sản phẩm thay thế)*

Từ 1000 kg nhựa PP, 1000 kg vỏ trấu và phụ gia sẽ sản xuất ra được khoảng 2000 kg ngói, tương đương với 1250 viên ngói (1,6 kg/viên). Giả sử 1 viên ngói được sản xuất bằng nhựa sẽ tương đương với 1 viên ngói từ đất sét có kích thước tương đương. Với khối lượng ngói từ đất sét là 4 kg/viên, như vậy khối lượng ngói tương đương là 5000 kg.

- *Nước*

Nước cho quá trình sản xuất là nước rửa chất thải nhựa. Lượng nước dùng để rửa 1000 kg nhựa khoảng 1 m<sup>3</sup> và được thải ra ngoài.

- *Điện*

Tổng lượng điện tiêu thụ cho quá trình sản xuất là 1808,45 kWh, theo cơ cấu công suất nguồn điện quốc gia năm 2020, có thể tính lượng điện đến từ các nguồn khác nhau như bảng 1.

**Bảng 1.** Tính toán lượng điện sử dụng theo cơ cấu công suất nguồn điện quốc gia năm 2020.

Loại điện	Cơ cấu (%)	Điện năng (kWh)
Nhiệt điện than	30	542,535
Thủy điện	30	542,535
Tuabin khí	11	198,930
Nhiệt điện dầu	2	36,169
Điện gió	1	18,085
Điện mặt trời	24	434,028
Sinh khối	1	18,085
Nhập khẩu	1	18,085
<b>Tổng</b>		<b>1808,45</b>

Nguồn: [17].

- *Phương tiện vận chuyển*

Nghiên cứu giả định phương tiện vận chuyển là xe tải 5 tấn được sử dụng để vận chuyển 1000 kg chất thải nhựa và 1000 kg trấu đến nhà máy với tổng quãng đường 40 km.

- *Tác động*

Tác động của quá trình tái chế chất thải nhựa thành ngói lợp chủ yếu từ quá trình vận chuyển, nhân công và nước rửa chất thải nhựa. Nhân công sử dụng cho quá trình sản xuất ngói lợp từ nhựa

là hai người. Trong công đoạn ép nhựa được gia nhiệt ở nhiệt độ từ 150°C – 300°C, tuy nhiên quá trình gia nhiệt bằng điện nên phát sinh khí thải không đáng kể và được loại bỏ ra khỏi quá trình đánh giá LCA.

### 3. Kết quả và bàn luận

#### 3.1. Đánh giá tác động của việc tái chế nhựa PP thành ngói lợp

Kết quả tính toán bằng phần mềm SimaPro cho quá trình tái chế 1000 kg nhựa PP thành ngói lợp được thể hiện trong bảng 2. Chỉ có 3 trong số 11 tiêu chí đánh giá cho thấy việc tái chế chất thải nhựa PP thành ngói lợp có tác động bất lợi đến môi trường và hệ sinh thái. Cụ thể, quá trình này gây độc cho hệ sinh thái nước ngọt (38,4 kg 1,4-DB eq), axit hóa (0,448 kg SO<sub>2</sub> eq) và phú dưỡng hóa (0,117 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>eq). Ngược lại, kết quả tính toán tác động môi trường từ phần mềm SimaPro

lại cho thấy quá trình ép nhựa thành ngói không gây cạn kiệt tài nguyên (-0.0192 kg Sb eq), cạn kiệt nhiều liệu hóa thạch (-4,17x10<sup>3</sup> MJ), nóng lên toàn cầu (-592 kg CO<sub>2</sub> eq), cạn kiệt ozon (-4,18x10<sup>-5</sup> kg CFC-11 eq), không gây độc cho con người (-419 kg 1,4-DB eq), không gây độc cho sinh thái nước mặn (-4,96x10<sup>6</sup> kg 1,4-DB eq), hệ sinh thái trên cạn (-0,374 kg 1,4-DB eq) và đồng thời cũng không gây oxi hóa quang hóa với giá trị tương ứng là -0,0652 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq. Bên cạnh đó, bảng 2 cũng cho biết quá trình tái chế nhựa PP thành ngói gây ảnh hưởng lớn nhất đến hệ sinh thái nước ngọt. Việc gây độc cho hệ sinh thái nước ngọt của quá trình ép nhựa PP thành ngói được đánh giá là do sử dụng một lượng lớn điện từ nhiệt điện than là chính. Quá trình ép nhựa PP thành ngói có thể gây độc cho hệ sinh thái nước ngọt tương đương với một lượng phát thải khoảng 147 kg 1,4-DB eq.

**Bảng 2.** Kết quả tính toán các tác động môi trường của quá trình tái chế nhựa PP thành ngói.

Impact category	Unit	Total
Abiotic depletion	kg Sb eq	-0.0192
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	-4.17E3
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	-592
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	-4.18E-5
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	-429
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	34.8
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	-4.96E6
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	-0.374
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	-0.0652
Acidification	kg SO2 eq	0.448
Eutrophication	kg PO4--- eq	0.117

Ngoài ra, việc sử dụng điện từ nguồn điện mặt trời, thủy điện và vận chuyển bằng xe tải 5 tấn cũng gây ra tác động tiêu cực cho hệ sinh thái nước ngọt với một lượng phát thải tương ứng 67,1 kg 1,4-DB eq; 1,04 kg 1,4-DB eq và 2,44 kg 1,4-DB eq. Tương tự, với việc sử dụng lượng lớn điện từ nhiệt điện than cũng là nguyên nhân chính gây axit hóa và phú dưỡng hóa của quá trình tái chế nhựa PP thành ngói, tương ứng 2,47 kg SO<sub>2</sub> eq và 0,611 kg SO<sub>2</sub> eq.

#### 3.2. So sánh tác động với việc sản xuất ngói từ đất sét

Quá trình tái chế nhựa PP thành ngói lợp có lợi với môi trường hơn so với ngói từ đất sét truyền thống. Hình 2 thể hiện tất cả 11 tiêu chí đánh giá tác động môi trường của quá trình tái chế nhựa thành ngói đều thấp hơn so với ngói từ đất sét. Qua đó có thể khẳng định quá trình tái chế nhựa thành ngói có hiệu quả về môi trường hơn so với

quá trình sản xuất ngói từ đất sét. Mặt khác, ngói từ nhựa có trọng lượng 1,6 kg nhẹ hơn nhiều so với ngói từ đất sét (4 kg) với kích thước tương đương, điều này giúp giảm áp lực và chi phí lắp đặt hệ thống giàn đỡ mái nhà. Ngoài ra còn giảm được khả năng hư hao trong quá trình vận chuyển. Do kết cấu chặt chẽ giữa các gờ dọc và gờ ngang kết nối giữa các viên ngói giúp chống lại sự xâm nhập của nước mưa, chống tốc mái và cách nhiệt từ môi trường bên ngoài. Bên cạnh đó, quá trình tái chế nhựa vừa giảm được lượng chất thải nhựa cần xử lý, vừa tạo ra nguồn kinh tế.

#### 4. Kết luận

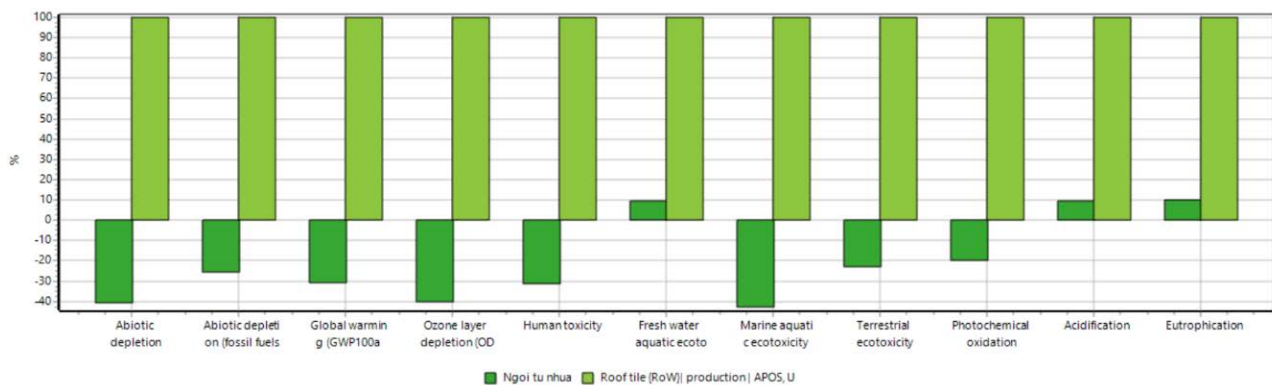
Qua đánh giá sơ bộ tác động môi trường và hiệu quả của công nghệ tái chế nhựa thành ngói lợp có thể thấy phần lớn các tác động đến môi trường của công nghệ này ở mức dưới 0 (không gây ra các tác động bất lợi đến môi trường) đối với nhóm tác động: Cạn kiệt tài nguyên, cạn kiệt nhiên liệu hóa thạch, nóng lên toàn cầu, cạn kiệt ozon, gây độc cho con người, gây độc cho hệ sinh thái nước mặn, gây độc cho hệ sinh thái trên cạn và oxy hóa quang hóa. Bên cạnh đó, vẫn có một vài tiêu chí đánh giá tác động có giá trị lớn hơn 0 như gây độc cho hệ sinh thái nước ngọt, axit hóa và phú dưỡng hóa. Tuy nhiên khi so sánh với sản

phẩm ngói từ đất sét, quá trình sản xuất ngói lợp từ nhựa có lợi hơn về mặt bảo vệ môi trường, hệ sinh thái và con người, cụ thể ở tất cả 11 tiêu chí đánh giá đều thấp hơn so với sản phẩm ngói từ đất sét.

Kết quả tính toán chung cho thấy tái chế chất thải nhựa thành vật liệu là một trong những giải pháp tái chế hiệu quả, tác động đến môi trường ở mức độ rất thấp so với hiệu quả của kỹ thuật này mang lại về mặt kinh tế, xã hội và tài nguyên. Cần nghiên cứu các chính sách phù hợp nhằm khuyến khích thực hiện công nghệ tái chế nhựa thân thiện với môi trường này trong bối cảnh ô nhiễm chất thải nhựa ngày càng nghiêm trọng như hiện nay. Cần có thêm các nghiên cứu đánh giá về công nghệ tái chế chất thải nhựa để có thể so sánh, hỗ trợ trong việc đưa ra các chính sách, cơ chế phù hợp cho từng công nghệ tái chế và từng loại nhựa thải khác nhau.

#### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này nhận được sự hỗ trợ của tổ chức Pre Sustainability – Hà Lan về phần mềm SimaPro, sự hỗ trợ của công ty Trọng Danh và Viện Xây dựng – Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn.



Hình 2. So sánh tác động môi trường của quá trình sản xuất ngói từ nhựa pp và từ đất sét thông thường.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] UNEP, “Beat Plastic Pollution This World Environment Day,” 2018. Available: <https://www.unep.org/interactive/beat-plastic-pollution/>. Accessed on: 08/08/2021.
- [2] R. Geyer, J. R. Jambeck, and K. L. Law, “Production, use, and fate of all plastics ever made”. Science Advances. 2017; 3(7):19–24. DOI: 10.1126/sciadv.1700782.
- [3] H. Ritchie, M. Roser; “Plastic Pollution”. 2018. Available: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution#citation>. Accessed on: 26/12/2021.
- [4] C. Schmidt, T. Krauth, S. Wagner; “Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea”.

- Environmental Science and Technology. 2017; 51(21):12246–12253. DOI: 10.1021/ACS.EST.7B02368.
- [5] J. R. Jambeck et al.; “Plastic waste inputs from land into the ocean”. Science. 2015; 347(6223):768-771. DOI: 10.1126/science.1260352.
- [6] N. T. Trang, B. T. T. Hiền, C. T. Cường; “Bước đầu đánh giá hiện trạng ô nhiễm rác thải nhựa tại một số bãi biển Việt Nam”. 2020. Available: <https://moit.gov.vn/bao-ve-moi-truong/buoc-dau-danh-gia-hien-trang-o-nhiem-rac-thai-nhua-tai-mot-s.html>. Ngày truy cập 30/7/2021.
- [7] Bộ Tài nguyên và Môi trường, “Chung tay hành động chống rác thải nhựa vì một Việt Nam xanh,” <https://www.monre.gov.vn/Pages/chung-tay-hanh-dong-chong-rac-thai-nhua-vi-mot-viet-nam-xanh.aspx>, 2019. <https://www.monre.gov.vn/Pages/chung-tay-hanh-dong-chong-rac-thai-nhua-vi-mot-viet-nam-xanh.aspx>.
- [8] P. O. Awoyera, A. Adesina; “Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective”. Case Studies in Construction Materials. 2020; vol. 12. DOI: 10.1016/j.cscm.2020.e00330.
- [9] B. Đ. T. Trúc, N. H. K. Ngân, P. T. Anh; “Nghiên cứu thử nghiệm sản xuất vật liệu xây dựng từ nguồn chất thải nhựa pp và chất thải bao bì tetrapak”. Luận văn kỹ sư, Kỹ thuật môi trường, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Tp.HCM. 2021.
- [10] O. Eriksson et al.; “Municipal solid waste management from a systems perspective”. Journal of Cleaner Production. 2005; 13(3):241–252. DOI: 10.1016/j.jclepro.2004.02.018.
- [11] P. T. Anh, N. T. M. Hiền, N. T. B. Ngọc, N. N. Tiến, “Hiệu quả môi trường của công nghệ nhiệt phân chất thải nhựa và sự chọn lựa của doanh nghiệp tái chế năng lượng,” Tạp chí Khoa học công nghệ Giao thông vận tải. 2021; 10(2):14–19.
- [12] M. Banar; “Life cycle assessment of waste tire pyrolysis”. Fresenius Environmental Bulletin. 2015; 24(4):1215-1226.
- [13] P. T. Benavides, P. Sun, J. Han, J. B. Dunn, M. Wang; “Life-cycle analysis of fuels from post-use non-recycled plastics”. Fuel. 2017; 203:11–22. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.04.070.
- [14] E. R. K. Neo, G. C. Y. Soo, D. Z. L. Tan, K. Cady, K. T. Tong, J. S. C. Low; “Life cycle assessment of plastic waste end-of-life for India and Indonesia”. Resources, Conservation and Recycling. 2021; vol.174. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105774
- [15] H. H. Khoo, “LCA of plastic waste recovery into recycled materials, energy and fuels in Singapore”. Resources, Conservation and Recycling. 2019; 145:67-77. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.02.010.
- [16] C. Jiménez-González, S. Kim, M. R. Overcash, “Methodology for developing gate-to-gate Life cycle inventory information”. The International Journal of Life Cycle Assessment. 2000; 5(3):153–159. DOI: 10.1007/BF02978615.
- [17] Bộ Công Thương; “Tờ trình v/v Phê duyệt Đề án quy hoạch phát triển điện lực quốc gia thời kỳ 2021-2030 tầm nhìn đến năm 2045”; Hà Nội, Việt Nam. 2021.

**Ngày nhận bài: 01/03/2022**

**Ngày chuyển phản biện: 04/03/2022**

**Ngày hoàn thành sửa bài: 25/03/2022**

**Ngày chấp nhận đăng: 31/03/2022**