

TIỀM NĂNG PHÁT TRIỂN CÁC SẢN PHẨM TỪ CO₂ PHÙ HỢP VỚI XU HƯỚNG CHUYỂN DỊCH NĂNG LƯỢNG TẠI VIỆT NAM

Nguyễn Hữu Lương, Phan Minh Tuấn, Lê Hồng Nguyên

Viện Dầu khí Việt Nam (VPI), Thành phố Hồ Chí Minh, 71320, Việt Nam

TỪ KHÓA

Chuyển dịch năng lượng, chuyển hóa CO₂, nhiên liệu tổng hợp, xi măng và bê tông xanh, urea xanh.

TÓM TẮT

Các hướng sử dụng CO₂ tiềm năng bao gồm sản xuất urea, nhiên liệu tổng hợp, vật liệu polymer, nanocarbon, hóa chất xanh và vật liệu xây dựng xanh. Trên cơ sở phân tích và đánh giá các nhóm sản phẩm này, bài báo làm rõ tiềm năng phát triển các sản phẩm từ CO₂ tại Việt Nam đến các năm 2030, 2040 và 2050 - trong bối cảnh quốc gia đang từng bước thúc đẩy chuyển dịch năng lượng, thực hiện cam kết phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050 và xây dựng nền kinh tế carbon thấp.

Đến năm 2030, việc sử dụng CO₂ dự kiến chủ yếu tập trung vào sản xuất các sản phẩm truyền thống (urea) tại các nhà máy đạm tại Việt Nam. Tuy nhiên, CO₂ để sản xuất urea hiện chủ yếu được cung cấp từ chính các quá trình công nghệ ngay tại nhà máy trong quá trình reforming khí thiên nhiên hoặc khí hóa than. Các công nghệ mới để chuyển hóa CO₂ thành các sản phẩm thay thế các sản phẩm truyền thống có nguồn gốc hóa thạch vẫn cơ bản được triển khai ở quy mô pilot để đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật.

Từ sau năm 2030, khi các công nghệ chuyển hóa CO₂ dần hoàn thiện và hiệu quả kinh tế - kỹ thuật được cải thiện, các sản phẩm mới từ CO₂ được kỳ vọng sẽ phát triển để thay thế một phần các sản phẩm truyền thống trên thị trường. Nhu cầu CO₂ phục vụ sản xuất các sản phẩm mới dự kiến đạt lần lượt khoảng 5,3 và 24,5 triệu tấn/năm vào các năm 2040 và 2050. Có thể thấy, việc đạt được 20% các giá trị tiềm năng này có thể so sánh được với mục tiêu và lộ trình về thu hồi và lưu giữ/sử dụng CO₂ (CCUS) của Chính phủ. Tuy nhiên, khả năng hiện thực hóa tiềm năng sử dụng CO₂ phụ thuộc không nhỏ vào tình hình phát triển công nghệ, mức độ giảm chi phí sản xuất và việc hoàn thiện cơ chế, chính sách khuyến khích sử dụng các sản phẩm từ CO₂.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh chuyển dịch năng lượng toàn cầu đang diễn ra mạnh mẽ, việc giảm phát thải khí nhà kính và chuyển đổi sang các nguồn năng lượng tái tạo đã trở thành định hướng chiến lược của nhiều quốc gia, trong đó có Việt Nam. Tại Hội nghị COP 26, Việt Nam đã cam kết đạt phát thải ròng bằng "0" (net-zero) vào năm 2050. Trong bối cảnh đó, một trong những hướng đi tiềm năng được đặc biệt chú trọng là chuyển hóa khí CO₂ - từng chỉ được xem là khí thải - thành các sản phẩm có giá trị kinh tế và môi trường,

qua đó, góp phần hình thành nền kinh tế tuần hoàn carbon, thúc đẩy tăng trưởng xanh và phát triển bền vững. Hướng đi này không chỉ là bước tiến về công nghệ, mà còn là một hướng đi chiến lược để các quốc gia vừa giảm phát thải, vừa phát triển kinh tế theo mô hình kinh tế tuần hoàn và bền vững. Theo xu hướng chuyển dịch năng lượng, nguồn cung CO₂ trong tương lai cho các quá trình chuyển hóa CO₂ chủ yếu được đáp ứng từ các nguồn khí thải công nghiệp và công nghệ thu giữ CO₂ trực tiếp từ không khí. 4 nhóm sản phẩm tiềm năng có thể được sản xuất từ CO₂ gồm: nhiên liệu

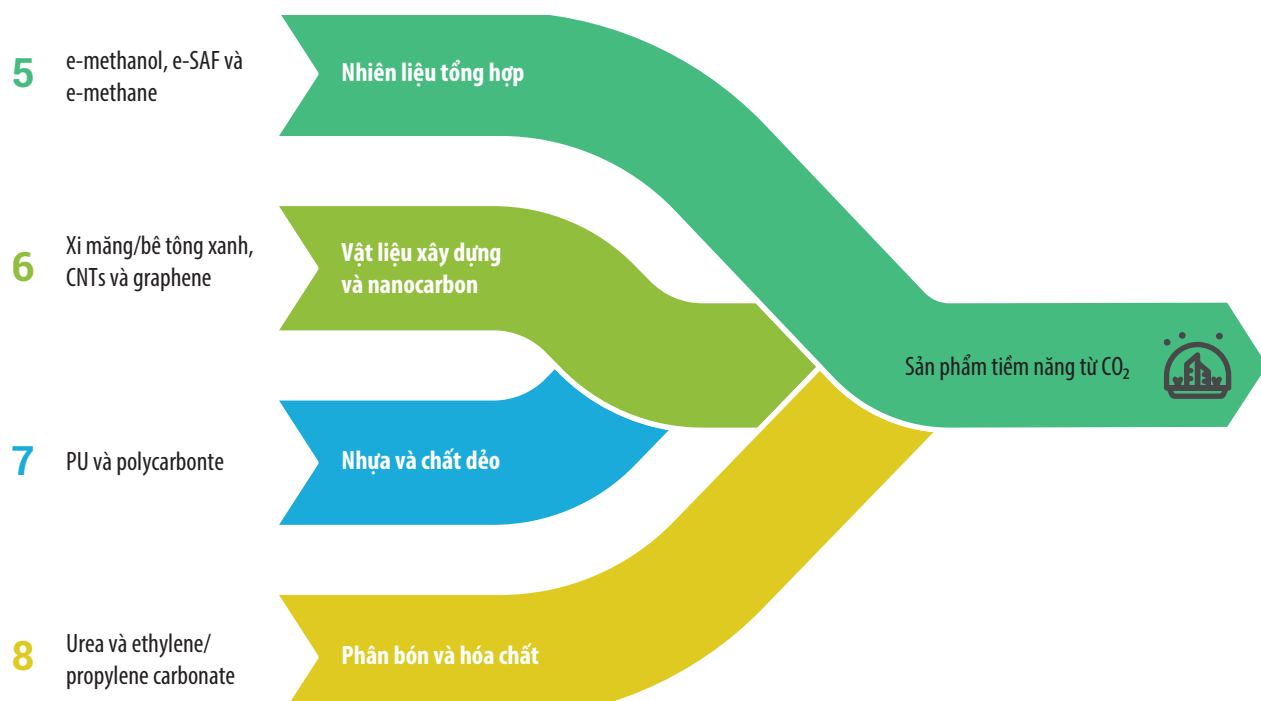
Tác giả liên hệ: Email: luongnh.pvpro@vpi.pvn.vn

Ngày nhận bài: 19/1/2026; Ngày sửa chữa sau phản biện: 19/1 - 9/4/2026; Ngày duyệt đăng: 9/4/2026

Copyright © 2026. Đây là bài báo truy cập mở theo Giấy phép CC BY-NC-ND

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).





Hình 1. Sản phẩm tiềm năng từ CO₂ phù hợp với xu hướng chuyển dịch năng lượng tại Việt Nam.

tổng hợp (e-fuels), vật liệu xây dựng xanh và nanocarbon, vật liệu polymer và phân bón - hóa chất.

Từ năm 2015, Việt Nam trở thành nước nhập khẩu năng lượng, đồng thời nhu cầu nhiên liệu nội địa được dự báo sẽ tiếp tục gia tăng đến giai đoạn 2035 - 2040. Với tiềm năng dồi dào về các nguồn năng lượng tái tạo, Việt Nam có thể sản xuất hydrogen xanh để làm nguyên liệu đầu vào cho các sản phẩm nhiên liệu tổng hợp (e-fuels) thông qua quá trình hydrogen hóa CO₂. E-methanol, e-SAF và e-methane là những sản phẩm tiềm năng có thể được phát triển tại Việt Nam để góp phần bổ sung vào nguồn cung nhiên liệu, đồng thời, giảm thiểu phát thải carbon. Bên cạnh năng lượng, vật liệu cũng là một lĩnh vực quan trọng trong tiến trình phát triển, góp phần vào mục tiêu công nghiệp hóa và hiện đại hóa đất nước. Các nhu cầu về vật liệu xây dựng (bê tông và xi măng), vật liệu nhựa và chất dẻo dùng trong các lĩnh vực xây dựng và sản xuất ô tô (polycarbonate, polyurethane) và vật liệu nanocarbon tiên tiến (CNTs và graphene) sẽ tiếp tục phát triển tại Việt Nam. Trong lĩnh vực phân bón, Việt Nam là một nước nông nghiệp và có nhu cầu sử dụng phân bón cao. Nguồn điện tái tạo dồi dào là một trong các lợi thế quan trọng để sản xuất hydrogen xanh - một trong nguyên liệu chính để sản xuất ammonia xanh dùng cho sản xuất urea xanh. Công nghệ sản xuất urea xanh đã trưởng thành với mức phát triển công nghệ cao (TRL~8-9). Các nhà máy sản xuất urea có thể được cải hoán dần và tích hợp linh hoạt một phần nguyên liệu hydrogen xanh và CO₂ từ các nguồn phát thải để sản xuất urea xanh. Vì vậy, trong tương lai, urea xanh

là một sản phẩm đầy tiềm năng phát triển tại Việt Nam. Theo xu hướng chuyển dịch năng lượng, năng lượng tái tạo và xe điện được dự báo sẽ phát triển mạnh mẽ, trong đó, xe điện sẽ trở thành phương tiện giao thông chính trong tương lai. Do đó, các loại hóa chất xanh có thể được sản xuất từ CO₂ như ethylene carbonate (EC) và propylene carbonate (PC) là những nguyên liệu quan trọng để sản xuất pin cũng có thể được phát triển. Hình 1 trình bày các sản phẩm tiềm năng từ CO₂ có thể phát triển tại Việt Nam. Đây không chỉ là giải pháp công nghệ trong giảm phát thải, mà còn là cơ hội phát triển các chuỗi giá trị mới trong nền kinh tế xanh.

Mặc dù các sản phẩm từ CO₂ có nhiều tiềm năng, nhưng hiện nay, tại Việt Nam, ngoại trừ sản phẩm urea (vốn sử dụng CO₂ thu được từ khí thiên nhiên hoặc than đá), các sản phẩm còn lại vẫn chưa được thương mại hóa rộng rãi (đang trong giai đoạn nghiên cứu, thử nghiệm hoặc thương mại hóa ở tỷ lệ < 10%). Sự phát triển của các sản phẩm từ CO₂ được đánh giá dựa trên tỷ lệ thâm nhập thị trường so với các sản phẩm truyền thống tương ứng. Các giả định về thị phần sản phẩm được xây dựng trên cơ sở lấy xu hướng thâm nhập tại các thị trường dẫn đầu như Liên minh châu Âu (EU), Trung Quốc làm trần tham chiếu, sau đó áp dụng hệ số chiết khấu nhằm phản ánh: (i) độ trễ về chính sách của Việt Nam so với các thị trường tiên tiến (thường từ 5 - 10 năm); (ii) năng lực tài chính và công nghệ nội địa còn hạn chế và (iii) áp lực chuyển đổi gián tiếp từ chuỗi giá trị xuất khẩu (cơ chế điều chỉnh biên giới carbon của EU (CBAM), tiêu chuẩn xanh của đối tác thương mại). Các sản phẩm xanh từ CO₂ sẽ phát triển

song song với sản phẩm truyền thống trong thời gian dài, trước khi đạt điểm tới hạn và tăng tốc thâm nhập thị trường. Theo đó, để ước lượng tiềm năng phát triển và ứng dụng các sản phẩm này trong nước, nghiên cứu đã giả định mức độ triển khai thí điểm và áp dụng của các sản phẩm trong các giai đoạn đến năm 2030, 2040 và 2050 như sau:

- Đến năm 2030: Tập trung vào nghiên cứu, phát triển và sản xuất thử nghiệm các sản phẩm từ CO₂, đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của các công nghệ liên quan, và xây dựng hệ thống chính sách phù hợp. Trong giai đoạn này, phù hợp với xu hướng phát triển công nghệ trên thế giới, nhiều sản phẩm từ CO₂ vẫn còn tương đối mới hoặc đang trong giai đoạn phát triển. Môi trường pháp lý và chính sách là yếu tố then chốt để mở rộng quy mô sản xuất và phát triển thị trường. Tại Việt Nam, những thách thức này còn rõ nét hơn khi hệ thống giao dịch phát thải (ETS) thí điểm chỉ mới khởi động từ tháng 8/2025, năng lực đo lường - báo cáo - thẩm định (MRV) còn hạn chế và chưa có quy định riêng nào về sản phẩm từ CO₂. Vì vậy, đây là giai đoạn xây dựng nền tảng và dần hình thành các điều kiện tiên quyết về thể chế, công nghệ và hạ tầng tài chính cho thị trường các sản phẩm từ CO₂.

- Đến năm 2040: Khi công nghệ ngày càng hoàn thiện hơn, các quy định về bảo vệ môi trường trở nên nghiêm ngặt hơn, thị trường cho các sản phẩm từ CO₂ phát triển, trong đó:

- + Đối với các sản phẩm được sản xuất bởi các công nghệ hiện nay đã bắt đầu được thương mại hóa (thị phần < 10%) gồm: urea xanh, polycarbonate và xi măng/bê tông xanh, trong giai đoạn 2031 - 2040, thị phần của các sản phẩm này bắt đầu đi vào giai đoạn tăng trưởng với kỳ vọng đạt thị phần tăng gấp 2 - 3 lần so với giai đoạn trước, tương ứng đạt 20 - 30% tổng nhu cầu sản phẩm. Các sản phẩm này chủ yếu được sản xuất dựa trên sự cải tiến quy trình hiện hữu và mở rộng thị trường sẵn có, vì vậy, sẽ có nhiều thuận lợi trong việc chiếm lĩnh thị trường. Sự thâm nhập thị trường phụ thuộc nhiều vào chính sách của Chính phủ và mức độ đảm bảo hiệu quả của các nguồn cung CO₂ và/hoặc hydrogen xanh.

- + Đối với các sản phẩm từ CO₂ được sản xuất theo quy trình công nghệ đổi mới hoàn toàn gồm: ethylene/propylene carbonate (từ ethylene/propylene glycol), e-methane, e-methanol, e-SAF, polyurethane và nanocarbon, trong giai đoạn 2031 - 2040, bắt đầu ra mắt thị trường, vì vậy, dự kiến thị phần sẽ thấp hơn, đạt khoảng 5 - 10% tổng nhu cầu của sản phẩm.

- Đến năm 2050: Với sự hoàn thiện toàn diện của công nghệ, cùng với việc áp dụng rộng rãi các chính sách như thuế carbon và các tiêu chuẩn môi trường, thị phần các sản phẩm từ CO₂ có thể đạt cao hơn giai đoạn trước, trong đó:

- + Đối với các sản phẩm được sản xuất bởi các công nghệ hiện nay đã bắt đầu được thương mại hóa, trong điều kiện thuận lợi, các công nghệ này sẽ chuyển sang giai đoạn phát triển bùng nổ để chiếm lĩnh thị trường, dần thay thế các sản phẩm truyền thống. Trong giai đoạn 2041 - 2050, khi công nghệ đạt mức độ trưởng thành hoàn toàn và sự thực thi chính sách xanh hóa mạnh mẽ của Chính phủ, các sản phẩm từ CO₂ có thể cạnh tranh trực tiếp với các sản phẩm truyền thống. Vì vậy, thị phần các sản phẩm từ CO₂ dự kiến có thể đạt 50 - 70% tổng nhu cầu sản phẩm tương ứng, góp phần đáng kể vào mục tiêu đạt net-zero trong lĩnh vực các quá trình công nghiệp.

- + Đối với các sản phẩm từ CO₂ được sản xuất theo quy trình công nghệ đổi mới hoàn toàn, sau thời gian ra mắt thị trường, trong giai đoạn 2041 - 2050, thị trường các sản phẩm này có thể bước vào giai đoạn tăng trưởng và được kỳ vọng tăng thị phần gấp 2 - 3 lần so với giai đoạn trước, tương ứng sẽ đạt khoảng 10 - 20% tổng nhu cầu của sản phẩm.

Có thể thấy rằng, sự phát triển ổn định và bền vững của các sản phẩm từ CO₂ trong tương lai sẽ góp phần thúc đẩy quá trình chuyển dịch xanh và phát triển kinh tế tuần hoàn tại Việt Nam. Theo đó, tiềm năng về thị trường các sản phẩm sử dụng CO₂ và tiềm năng sử dụng CO₂ tại Việt Nam được đánh giá cụ thể như sau.

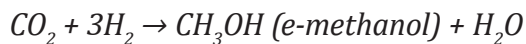
2. Nhóm sản phẩm nhiên liệu tổng hợp từ CO₂

2.1. Methanol

Methanol là một nguyên/nhiên liệu hóa học quan trọng được ứng dụng trong sản xuất nhựa, sơn, dung môi, nguyên liệu hóa chất và có thể làm nhiên liệu thay thế cho hoạt động của tàu biển trong tương lai. Methanol truyền thống thường được sản xuất thông qua quá trình khí hóa than đá hoặc reforming hơi nước khí thiên nhiên để tạo hỗn hợp khí tổng hợp, bao gồm CO và H₂, sau đó được chuyển thành methanol thông qua quá trình tổng hợp methanol. Phương trình tổng hợp methanol từ khí tổng hợp được biểu diễn như sau:



Theo xu hướng chuyển dịch năng lượng, CO₂ thu từ các nguồn phát thải có thể được sử dụng làm nguyên liệu để tạo ra e-methanol. Công nghệ sản xuất e-methanol thông qua phản ứng hydrogen hóa - kết hợp CO₂ với H₂ thu được từ điện phân nước, giúp tái sử dụng CO₂ và tạo ra một loại nhiên liệu dễ lưu trữ, vận chuyển. Đây được xem là giải pháp tiềm năng cho nền kinh tế tuần hoàn carbon trong tương lai. Phương trình biểu diễn quá trình tổng hợp e-methanol như sau:



Vào năm 2023, tổng nhu cầu methanol tại Việt Nam đạt gần 250 nghìn tấn/năm [1] với tốc độ tăng trưởng 3,1% trong giai đoạn đến năm 2034 [2]. Methanol chủ yếu được sử dụng làm dung môi trong công nghiệp và nhập khẩu từ các quốc gia như Hàn Quốc, Indonesia và Malaysia. Tuy nhiên, trong bối cảnh chuyển dịch năng lượng, nhu cầu methanol trong tương lai có thể tăng trưởng nhanh hơn do nhu cầu sử dụng methanol làm nguyên liệu sản xuất nhiên liệu sạch như nhiên liệu hàng không bền vững (SAF) và dimethylether (DME), sản xuất vật liệu polymer như polypropylene (PP) và polyethylene (PE), hoặc làm nhiên liệu thay thế trong vận tải hàng hải. Dựa trên giả định rằng tốc độ tăng trưởng sẽ tăng gấp đôi trong giai đoạn 2035 - 2050, nhu cầu tiêu thụ methanol tại Việt Nam có thể đạt lần lượt 665 nghìn tấn/năm và 1,3 triệu tấn/năm vào các năm 2040 và 2050. Với dự báo việc thay thế nguồn methanol truyền thống (chủ yếu sản xuất từ nguồn nguyên liệu hóa thạch) bằng e-methanol được sản xuất từ CO₂ thông qua phản ứng với hydrogen có thể đạt lần lượt 10% và 20% vào các năm 2040 và 2050, ước lượng sản phẩm e-methanol từ CO₂ tương ứng lần lượt sẽ là 66,5 nghìn tấn/năm và 260 nghìn tấn/năm. Mỗi tấn e-methanol được tạo ra sẽ tiêu thụ 1,4 tấn CO₂. Như vậy, lượng CO₂ tiêu thụ để sản xuất e-methanol sẽ đạt lần lượt là 94 nghìn tấn/năm và 364 nghìn tấn/năm vào các năm 2040 và 2050.

2.2. Kerosene/Jet (SAF)

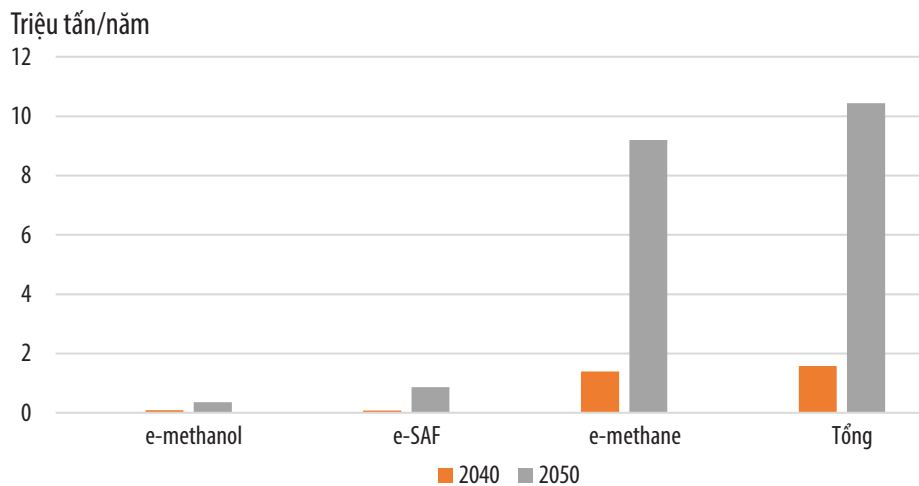
Các loại nhiên liệu lỏng truyền thống như xăng, diesel và nhiên liệu phản lực (Jet fuel) đóng vai trò quan trọng đối với hoạt động giao thông vận tải. Các loại nhiên liệu này thường được sản xuất thông qua các quá trình chế biến phức tạp trong nhà máy lọc dầu. Một phần nhỏ sản lượng nhiên liệu lỏng có thể được tổng hợp từ các nguồn nguyên liệu như than đá hoặc khí thiên nhiên thông qua các quá trình chế biến bao gồm khí hóa than hoặc reforming khí thiên nhiên thành khí tổng hợp và chuyển hóa khí tổng hợp thành nhiên liệu hydrocarbon nhờ quá trình tổng hợp Fischer-Tropsch (FT). Theo xu hướng chuyển dịch năng lượng, nhu cầu sử dụng nhiên liệu lỏng cho giao thông đường bộ sẽ giảm dần do sự phát triển của các loại xe điện BEV (battery electric vehicle) và FCEV (fuel cell electric vehicle). Tuy nhiên, nhu cầu sử dụng nhiên liệu hàng không bền vững (SAF) lại tăng dần như một trong các giải pháp chính để khử carbon cho lĩnh vực hàng không. Đến năm 2030, sản lượng SAF toàn cầu có thể đạt 21 triệu tấn/năm, chiếm khoảng 5% nhu cầu tiêu thụ nhiên liệu hàng không toàn cầu, tăng lên 100 triệu tấn/năm và đạt khoảng 400 triệu tấn/năm vào năm 2050, trở thành nguồn cung chính cho nhiên liệu hàng không để đạt được mục tiêu net-zero [3, 4].

Nhu cầu hiện tại của jet/kerosene tại Việt Nam đạt khoảng 2,8 - 3 triệu tấn/năm và dự báo tiếp tục tăng trong tương lai, đạt lần lượt khoảng 4 triệu tấn/năm và 11 triệu tấn/năm vào các năm 2030 và 2050 [34]. Theo Quyết định 876/QĐ-TTg ngày 22/7/2022 [5] về Chương trình hành động nhằm xanh hóa lĩnh vực giao thông vận tải, đến năm 2035, ít nhất 10% SAF được sử dụng cho các chuyến bay quãng đường ngắn.

Nhiều quốc gia đã đưa ra mục tiêu và lộ trình bắt buộc sử dụng SAF với tỷ lệ phối trộn tăng dần. Theo đó, trước năm 2030, tỷ lệ thấp 0,5 - 2% được áp dụng, tăng lên 5 - 30% vào năm 2030 và đạt 47 - 100% vào năm 2050 [35 - 48]. Đối với Việt Nam, có thể ước tính trong giai đoạn đến năm 2030, SAF được sử dụng ở tỷ lệ 1 - 2% nhằm thử nghiệm cho một số chuyến bay, đến năm 2040, tỷ lệ sử dụng SAF có thể đạt 5 - 10% và tăng lên 30 - 50% vào năm 2050. Các mức tỷ lệ phối trộn này phù hợp với xu thế chung của các nước trong khu vực và có thể đáp được từ các nguồn nguyên liệu tiềm năng trong nước, bao gồm: dầu ăn thải (UCO), mỡ cá và sinh khối từ phụ phẩm nông nghiệp. Theo đó, nhu cầu sử dụng SAF tại Việt Nam có thể đạt 38 nghìn tấn/năm vào năm 2030, 550 nghìn tấn/năm (năm 2040) và 2,9 triệu tấn/năm (năm 2050). SAF có thể được sản xuất thông qua 4 nhóm công nghệ chính gồm: HEFA, FT, AtJ và e-SAF. Hiện tại, công nghệ HEFA đang chiếm lĩnh thị trường toàn cầu với tỷ lệ > 90%. Tuy nhiên, theo thời gian, các công nghệ sản xuất SAF khác sẽ dần hoàn thiện và được thương mại hóa rộng rãi. Với thuận lợi về các nguồn nguyên liệu trong nước, các loại SAF được sản xuất từ dầu mỡ đã qua sử dụng (UCO) và sinh khối sẽ chiếm ưu thế, trong khi e-SAF từ CO₂ sẽ góp phần thứ yếu vào mục tiêu phát triển SAF tại Việt Nam. Mỗi tấn e-SAF được tạo ra sẽ tiêu thụ 3 tấn CO₂. Như vậy, với tỷ lệ e-SAF đạt 5% vào năm 2040 và 10% vào năm 2050 trong tổng lượng SAF, nhu cầu sử dụng CO₂ lần lượt là 82,5 nghìn tấn/năm và 870 nghìn tấn/năm.

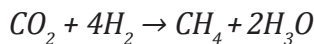
2.3. Methane

Methane là một trong những nguồn quan trọng thu từ khí thiên nhiên và được sử dụng trực tiếp làm nhiên liệu hoặc được chuyển hóa thành khí tổng hợp (syngas) làm nguyên liệu cho tổng hợp hóa dầu. Hiện nay, khoảng 95% khí thiên nhiên chủ yếu được sử dụng làm nhiên liệu, trong khi chỉ khoảng 5% khí được sử dụng làm nguyên liệu. Tổng nhu cầu sử dụng khí hiện tại đạt khoảng 3,06 tỷ tấn/năm (năm 2023) và dự kiến sẽ tăng đến 3,5 - 4,1 tỷ tấn/năm vào năm 2050 [6]. Trong bối cảnh diễn ra xu hướng chuyển dịch năng lượng, cơ cấu nguồn cung và mục đích sử dụng khí thiên nhiên đang có những thay đổi. Một mặt, tỷ lệ sử dụng khí làm nguyên liệu sẽ tăng đến 15% vào năm 2050, mặt khác, một phần nhu cầu khí thiên nhiên sẽ được đáp ứng



Hình 2. Dự báo nhu cầu tiêu thụ CO₂ để sản xuất các sản phẩm nhiên liệu tổng hợp tại Việt Nam đến năm 2050.

bởi e-methane được sản xuất từ CO₂ và H₂. E-methane được tổng hợp thông qua quá trình hydrogen hóa CO₂ với nguồn CO₂ thu từ các nguồn phát thải carbon và hydrogen được sản xuất từ điện phân nước sử dụng năng lượng tái tạo. Phương trình tổng hợp e-methane được biểu diễn như sau:



Sản lượng e-methane hiện tại vẫn còn rất thấp, chỉ dừng ở quy mô sản xuất thử nghiệm với công suất 13 nghìn tấn/năm. Đến năm 2030, chi phí sản xuất e-methane vẫn cao gấp từ 2 - 3 lần so với giá khí thiên nhiên [7]. Tuy nhiên, trong dài hạn, công suất e-methane sẽ tăng mạnh và có thể đạt lần lượt 0,6 triệu tấn/năm, 10 triệu tấn/năm và 150 triệu tấn/năm vào các năm 2030, 2040 và 2050 [7 - 9]. Chi phí sản xuất e-methane chủ yếu phụ thuộc vào giá năng lượng tái tạo, chi phí thu hồi CO₂ và sự cải tiến công nghệ. Đến năm 2050, chi phí sản xuất e-methane có thể đạt gấp khoảng 0,6 - 1,7 lần và 0,7 - 1,2 lần so với giá khí thiên nhiên [10].

Đối với Việt Nam, sản lượng khí trong nước tiếp tục suy giảm từ 10,3 tỷ m³ năm 2019 xuống còn 6,4 tỷ m³ vào năm 2024. Do đó, nhu cầu khí trong tương lai sẽ được đáp ứng một phần bằng cách nhập khẩu LNG. Dự báo nhu cầu tiêu thụ khí năm 2030, 2040 là 10 triệu tấn/năm và 2050 là 16,4 triệu tấn/năm. Theo xu hướng chuyển dịch năng lượng, e-methane hiện là một trong các hướng đang được phát triển để đáp ứng một phần nhu cầu lượng khí thiếu hụt, đồng thời, đảm bảo phát triển bền vững. Mỗi tấn e-methane được sản xuất sẽ cần tiêu thụ 2,8 tấn CO₂. Với ước lượng e-methane dự kiến sẽ thay thế lần lượt khoảng 5% và 20% nhu cầu khí vào các năm 2040 và 2050, tương ứng với các mức thay thế này, nhu cầu CO₂ cho sản xuất e-methane vào khoảng 1,4 triệu tấn/năm vào năm 2040 và 9,2 triệu tấn/năm vào năm 2050. Đây là hướng tiềm năng lớn cho việc sử dụng tại Việt Nam trong tương

lai. Hình 2 trình bày nhu cầu tiêu thụ CO₂ để sản xuất các sản phẩm nhiên liệu tổng hợp tại Việt Nam vào các năm 2030, 2040 và 2050.

3. Nhóm sản phẩm vật liệu sản xuất từ CO₂

3.1. Bê tông và xi măng xanh

Xi măng, nguyên liệu chủ lực tạo bê tông cho xây dựng, được sản xuất từ clinker, thạch cao và các khoáng chất khác. Tuy nhiên, quy trình sản xuất truyền thống phát thải nhiều CO₂ do nhiệt độ cao và phản ứng hóa học. Xi măng carbon - công nghệ dùng CO₂ tái chế kết hợp vật liệu khác - không chỉ giảm khí thải mà còn cho phép sản phẩm hấp thụ CO₂ suốt vòng đời, góp phần xây dựng công trình bền vững và thân thiện môi trường. Ứng dụng CO₂ trong lĩnh vực bê tông và xi măng thể hiện qua việc sử dụng một số hợp chất như carbonate (như CaCO₃) để thay thế một phần hoặc toàn bộ clinker truyền thống nhờ vào tính chất chống thấm, chịu nén tốt của các khoáng chất carbonate. Việc này giúp giảm lượng clinker (và CO₂) trong quá trình sản xuất xi măng. CO₂ được sử dụng như là tác chất trong sản xuất carbonate. Tuy nhiên, quá trình chuyển hóa CO₂ thành khoáng chất vẫn đang trong giai đoạn nghiên cứu và phát triển, đặc biệt là làm sao để tối ưu hóa hiệu quả và giảm chi phí. Việc triển khai rộng rãi công nghệ này sẽ cần phải vượt qua nhiều thử thách về quy mô và khả năng thương mại hóa. Công nghệ CarbonCure (Canada) bơm CO₂ vào bê tông trong quá trình phối trộn xi măng với các loại vật liệu khác sẽ tạo ra vật liệu bê tông xanh với mức giảm phát thải carbon khoảng 25% so với các loại bê tông truyền thống [49]. Mặc dù công nghệ này giúp giảm chi phí sản xuất bê tông do tiết kiệm được 5 - 8% xi măng, nhưng công nghệ chỉ mới bắt đầu được áp dụng tại các thị trường khu vực châu Âu và Bắc Mỹ [49]. Để triển khai rộng rãi công nghệ này, các thách thức cần được giải quyết bao gồm:

- Rào cản kỹ thuật:
- + Thiếu nguồn CO₂ chất lượng cao cho khoáng hóa.
- + Cần cải tạo/nâng cấp hạ tầng nhà máy hiện có.
- Rào cản kinh tế:
- + Chi phí đầu tư ban đầu cao.
- + Thị trường chưa sẵn sàng trả phí premium cho xi măng xanh.
- + Thiếu cơ chế tín chỉ carbon rõ ràng.
- Rào cản chính sách:
- + Chưa có tiêu chuẩn/quy chuẩn cụ thể cho xi măng khoáng hóa CO₂.
- + Thiếu ưu đãi thuế/hỗ trợ tài chính cho công nghệ xanh.
- + Chưa có yêu cầu bắt buộc về xi măng carbon thấp.
- Rào cản thị trường:
- + Cạnh tranh giá khốc liệt trong ngành xi măng.
- + Nhận thức về lợi ích xi măng xanh còn hạn chế.
- + Thiếu nhu cầu từ các dự án xây dựng.

Dự báo nhu cầu CO₂ cho lĩnh vực bê tông và xi măng carbon thấp dựa trên % thay thế xi măng carbon thấp so với xi măng truyền thống. Lượng tiêu thụ xi măng ước tính đạt khoảng 60 - 65 triệu tấn/năm vào năm 2024 tại Việt Nam, với tốc độ tăng trưởng kép hàng năm là 8,4% [11]. Dự báo thị trường xi măng trong các năm 2030, 2040 và 2050 dự kiến lần lượt đạt 97 triệu tấn/năm, 218 triệu tấn/năm và 489 triệu tấn/năm. Trung bình khoảng 0,05 tấn CO₂ được sử dụng cho mỗi tấn xi măng từ CO₂. Với dự báo nhu cầu của xi măng carbon thấp chiếm khoảng 30% vào năm 2040 và 50% vào năm 2050, khi đó, lượng CO₂ yêu cầu cho mục đích sản xuất xi măng carbon thấp là khoảng 3,27 triệu tấn/năm vào năm 2040 và 12,23 triệu tấn/năm vào năm 2050.

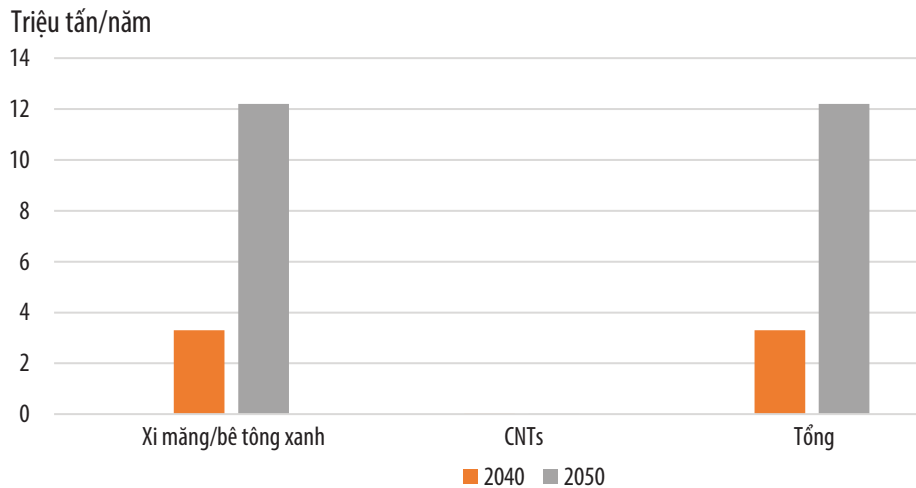
3.2. Vật liệu CNT và graphene

Nanocarbon, bao gồm chủ yếu là carbon nanotubes (CNT) và graphene, được xem là thế hệ vật liệu thứ tư, là nhóm vật liệu có tiềm năng ứng dụng trong nhiều lĩnh vực với những đặc tính vượt trội về dẫn nhiệt, dẫn điện, độ bền cơ học, chống mài mòn, chống ăn mòn, chống thấm nước... so với các loại vật liệu truyền thống. Các loại vật liệu này có thể được ứng dụng trong các lĩnh vực năng lượng, môi trường, vật liệu, y học... Tổng công suất sản xuất graphene toàn cầu đạt khoảng 23 nghìn tấn/năm vào năm 2023 trong khi nhu cầu thị trường được dự báo vượt trên 100

nghìn tấn/năm vào năm 2030 [12]. Tương tự, nhu cầu CNT đạt lần lượt là 14 nghìn tấn/năm và 95 nghìn tấn/năm vào các năm 2022 và 2030 [13]. Theo xu hướng chuyển dịch năng lượng, nhu cầu đối với graphene và CNT được dự báo sẽ tăng nhanh từ sau năm 2030 để ứng dụng trong các lĩnh vực sản xuất pin lưu trữ năng lượng và các loại vật liệu composite dùng trong sản xuất xe điện và xe chạy bằng hydrogen. Ước tính đến các năm 2040 và 2050, nhu cầu graphene và CNT có thể đạt lần lượt 1 - 2 triệu tấn/năm và 5 - 10 triệu tấn/năm [50].

Vật liệu graphene và CNT có thể được tổng hợp từ các nguồn nguyên liệu chứa carbon khác nhau gồm: graphite, methane, ethylene, acetylene, benzene, ethanol... Tùy thuộc vào đặc tính của nguyên liệu, các phương pháp công nghệ và điều kiện tổng hợp CNT khác nhau có thể được áp dụng. Methane là nguồn nguyên liệu được sử dụng nhiều nhất do có khả năng hình thành CNT ít khuyết tật và sự thuận lợi khi nâng quy mô công suất để triển khai sản xuất công nghiệp. Chi phí trung bình để sản xuất CNT theo các công nghệ truyền thống ở mức khoảng 100.000 USD/tấn. Bên cạnh đó, CNT cũng có thể được tổng hợp trực tiếp từ CO₂ thông qua công nghệ C2CNT. Công nghệ này sử dụng thiết bị Genesis Device độc quyền, chuyển đổi CO₂ thành CNT hoặc graphene bằng điện phân nóng chảy muối carbonate năng suất cao. Nhà máy đầu tiên sản xuất CNT từ nguồn khí thải nhà máy điện với công suất 7.500 tấn/năm đang được lên kế hoạch triển khai bởi Carbon Corp [14]. Nếu được triển khai thành công, trong tương lai, công nghệ này có thể được mở rộng quy mô công suất lên lần lượt 30 nghìn tấn/năm và 300 nghìn tấn/năm vào các năm 2040 và 2050. Chi phí sản xuất CNT theo công nghệ này có thể thấp hơn đáng kể so với công nghệ truyền thống. Trong điều kiện vận hành ở quy mô công nghiệp và chi phí năng lượng tái tạo thấp (~2 - 3 cents/kWh) ước tính chi phí sản xuất CNT giảm xuống dưới 1.000 USD/tấn [15].

Tại thị trường Việt Nam, vật liệu nanocarbon, chủ yếu là CNT và graphene, có tiềm năng được sử dụng làm phụ gia cho một số sản phẩm, bao gồm pin cho thiết bị điện tử, nguyên vật liệu cho ngành nhựa, sơn phủ, dầu bôi trơn, xi măng, phân bón vô cơ và nhựa đường. Với giả định hàm lượng vật liệu nanocarbon trong các sản phẩm trên khoảng 100 ppm, và tỷ lệ sản phẩm sử dụng vật liệu nanocarbon đạt 10% vào năm 2040, tăng lên 20% vào năm 2050, nhu cầu tiềm năng tương ứng đối với vật liệu nanocarbon có thể đạt lần lượt 0,3 nghìn tấn/năm và 1,4 nghìn tấn/năm. Mỗi tấn CNT được sản xuất theo công nghệ này sẽ tiêu thụ 4 tấn CO₂. Theo đó, nhu cầu CO₂ phục vụ sản xuất vật liệu nanocarbon có thể đạt lần lượt 1,2 nghìn tấn/năm vào năm 2040 và gần 5,6 nghìn tấn/năm vào năm 2050. Hình 3 trình bày nhu cầu CO₂ để sản xuất các sản phẩm vật liệu xanh tại Việt Nam vào các năm 2030, 2040 và 2050.



Hình 3. Dự báo nhu cầu CO₂ để sản xuất các sản phẩm vật liệu xanh tại Việt Nam đến năm 2050.

4. Nhóm sản phẩm nhựa và chất dẻo sản xuất từ CO₂

4.1. Polycarbonate

Trong công nghiệp, polycarbonate (PC) thường được sản xuất từ các nguồn nguyên liệu như phosgene hoặc các hợp chất carbonate hữu cơ. Công nghệ tổng hợp PC truyền thống được dựa trên cơ sở phản ứng giữa bisphenol A (BPA) và phosgene (COCl₂) trong môi trường 2 pha hoặc giữa BPA và diphenyl carbonate (DPC). Các quy trình này đều sử dụng nguyên liệu có nguồn gốc hóa dầu và/hoặc có tính độc hại. Theo xu hướng chuyển dịch năng lượng, CO₂ được thấy là một nguyên liệu thay thế đầy tiềm năng cho công nghệ này. Theo đó, polycarbonate có thể được tổng hợp thông qua các quá trình đồng trùng hợp giữa epoxide hoặc oxetane với CO₂ hoặc trùng hợp trực tiếp giữa diol và CO₂. Polycarbonate từ CO₂ là một bước đột phá trong ngành công nghiệp nhựa khi biến CO₂ tái chế thành nguồn carbon thay thế cho dầu mỏ.

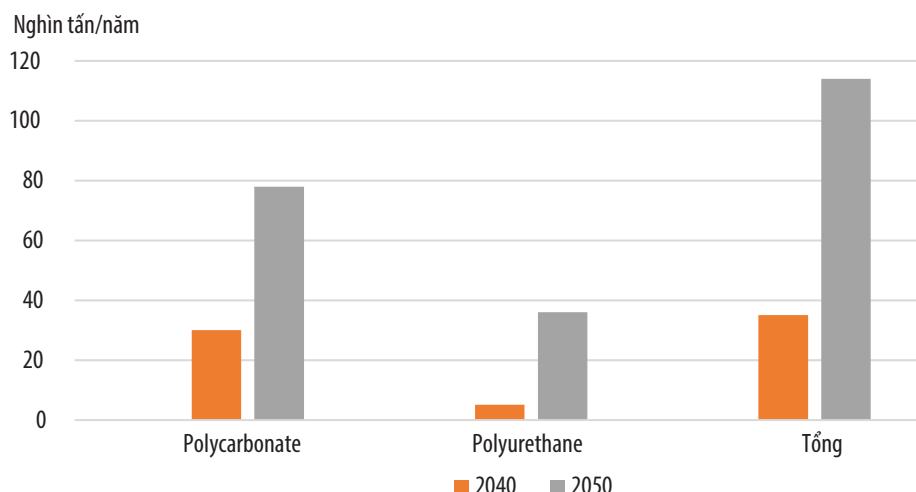
Năm 2022, tổng nhu cầu PC tại Việt Nam đạt 106 nghìn tấn/năm, với tốc độ tăng trưởng hàng năm 4,15% [16]. Dự báo trong tương lai, thị trường PC sẽ tiếp tục duy trì đà tăng trưởng ổn định. Nhu cầu PC trong các năm 2030, 2040 và 2050 lần lượt là 150 nghìn tấn/năm, 220 nghìn tấn/năm và 330 nghìn tấn/năm. Với xu hướng chuyển dịch năng lượng, chính sách giảm phát thải CO₂ và cùng với việc áp dụng thuế carbon và sự trưởng thành của công nghệ, sản phẩm polycarbonate từ CO₂ đang được chú trọng. Mặc dù công nghệ sản xuất PC trên cơ sở phản ứng giữa CO₂ và epoxides đã được thương mại hóa, thị phần của công nghệ mới này vẫn còn rất khiêm tốn (< 10%). Hiện tại, Việt Nam đang nhập khẩu hoàn toàn PC, do đó, thị trường cho PC sản xuất trong nước có thể được phát triển trong giai đoạn sau năm 2030. Nhu cầu sản phẩm PC từ CO₂ dự báo có thể đạt lần lượt 30% và 50% tổng nhu

cầu PC, tương ứng 66 nghìn tấn/năm vào năm 2040 và 165 nghìn tấn/năm vào năm 2050. Với mỗi tấn PC sản xuất từ CO₂ cần khoảng 0,47 tấn CO₂ được cố định [17], lượng khí nhà kính được hấp thụ thông qua chuỗi sản xuất này cũng sẽ tăng mạnh theo thời gian. Cụ thể, lượng CO₂ được chuyển hóa trong quá trình sản xuất PC từ CO₂ ước đạt 30 nghìn tấn/năm vào năm 2040, và có thể lên tới 78 nghìn tấn/năm vào năm 2050, cho thấy tiềm năng mở rộng ứng dụng của CO₂ trong ngành vật liệu nhựa kỹ thuật.

4.2. Polyurethane

Công nghệ truyền thống để tổng hợp polyurethane (PU) dựa trên phản ứng giữa polyol (polyether/polyester) và isocyanate (TDI, MDI). Theo xu hướng chuyển dịch năng lượng, quá trình sản xuất được xanh hóa thông qua tích hợp một phần CO₂ vào polyol. Polyurethane từ CO₂ là một công nghệ mới giúp giảm tác động môi trường bằng cách thay thế một phần polyol trong quy trình sản xuất polyurethane bằng CO₂ tái chế. Quy trình này giúp cắt giảm khí CO₂, giảm phụ thuộc vào hóa thạch và tạo sản phẩm thân thiện với môi trường, hướng tới nền kinh tế tuần hoàn carbon. Theo đó, CO₂ được tích hợp vào quá trình tổng hợp polyol với tỷ lệ 20 - 40% để phục vụ sản xuất polyurethane xanh. Năm 2016, Covestro đã bắt đầu hoạt động một dây chuyền sản xuất polyol công suất 5.000 tấn/năm với tỷ lệ tích hợp CO₂ lên đến 20%. Hiện tại, chi phí sản xuất PU từ CO₂ vẫn còn cao hơn gấp 6 - 7 lần so với sản phẩm PU truyền thống đi từ dầu mỏ. Tuy nhiên, từ sau năm 2030, với sự hoàn thiện về công nghệ và sự phát triển của thị trường carbon sẽ dẫn đến sự gia tăng chi phí sản xuất sản phẩm PU truyền thống, sản phẩm PU xanh được kỳ vọng có thể cạnh tranh với các sản phẩm PU truyền thống trong giai đoạn này.

Tại Việt Nam, nhu cầu tiêu thụ PU đang tăng trưởng nhanh



Hình 4. Dự báo nhu cầu tiêu thụ CO₂ để sản xuất các sản phẩm nhựa và chất dẻo xanh tại Việt Nam đến năm 2050.

chóng, đặc biệt là trong các lĩnh vực nội thất (nệm, sofa, ghế), xây dựng (vật liệu cách nhiệt, keo chống thấm) và sản xuất giày dép. Việt Nam hiện là một trong những quốc gia xuất khẩu giày dép lớn nhất thế giới và PU đóng vai trò quan trọng trong việc tạo lớp đế mềm, bền và nhẹ cho giày thể thao và giày thời trang. Năm 2022, nhu cầu tiêu thụ PU tại Việt Nam xấp xỉ 100 nghìn tấn/năm [18]. Với tốc độ tăng trưởng đạt 5,8% giai đoạn 2024 - 2034, nhu cầu tiêu thụ PU được dự báo tăng trưởng ổn định và mạnh mẽ trong tương lai [19]. Theo đó, nhu cầu tiêu thụ trung bình PU tại Việt Nam cho năm 2030 là 195 nghìn tấn/năm, năm 2040 là 342 nghìn tấn/năm và năm 2050 là 600 nghìn tấn/năm. Trung bình, cần tiêu thụ khoảng 0,3 tấn CO₂ để sản xuất 1 tấn PU xanh. Với giả định tỷ lệ PU có tích hợp CO₂ trong quá trình sản xuất lần lượt là 5% và 20% vào các năm 2040 và 2050, nhu cầu PU tích hợp CO₂ được ước lượng tương ứng tương ứng là 17 nghìn tấn/năm và 120 nghìn tấn/năm. Như vậy, lượng CO₂ cần thiết cho sản xuất sản phẩm PU dự kiến là 5,1 nghìn tấn/năm vào năm 2040 và 36 nghìn tấn/năm vào năm 2050. Hình 4 trình bày dự báo nhu cầu CO₂ để sản xuất các sản phẩm nhựa và chất dẻo xanh tại Việt Nam vào các năm 2030, 2040 và 2050.

5. Nhóm sản phẩm phân bón và hóa chất từ CO₂

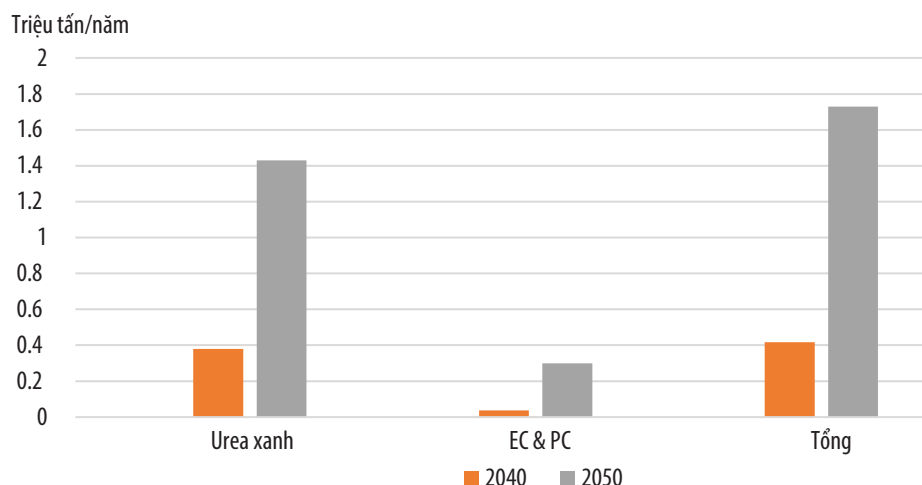
5.1. Urea

Hiện nay, ammonia và CO₂ dùng làm nguyên liệu sản xuất urea chủ yếu được tạo ra từ nhiên liệu hóa thạch, thông qua quá trình khí hóa than hoặc reforming hơi nước khí thiên nhiên. Theo xu hướng chuyển dịch năng lượng, sản phẩm urea sẽ được dần xanh hóa khi sử dụng các nguyên liệu bền vững là hydrogen/ammonia xanh và CO₂ thu từ không khí hoặc các nguồn phát thải khác. Urea xanh được xem là sản phẩm thân thiện môi trường, có mức phát thải carbon gần bằng "0" hoặc âm.

Tính đến năm 2024, có 4 dự án sản xuất thử nghiệm urea xanh với tổng công suất đạt 100 nghìn tấn/năm, tương đương 0,05% tổng sản lượng urea toàn cầu [20]. IEA (2021) đã đưa ra dự báo sản lượng ammonia xanh vào năm 2030 có thể đạt đến 8 triệu tấn/năm, bao gồm 3 triệu tấn ammonia/năm có thể được sử dụng để sản xuất 5 triệu tấn urea xanh/năm, tương ứng khoảng 2,5% tổng sản lượng urea [21]. Với sự cải tiến kỹ thuật công nghệ và giảm chi phí năng lượng tái tạo, tỷ lệ sản xuất và sử dụng urea xanh sẽ tăng dần. Đến năm 2050, khoảng 30% nhu cầu ammonia được đáp ứng từ ammonia tái tạo, trong đó, khoảng 40 - 45% lượng ammonia được sử dụng để sản xuất urea xanh, tương ứng với sản lượng urea xanh có thể đạt khoảng 83 triệu tấn/năm [22].

Tại Việt Nam, nhu cầu urea trong nước đạt khoảng 2 triệu tấn cho năm 2024, nguồn cung trong nước đến từ 4 nhà máy sản xuất phân đạm (Phú Mỹ, Cà Mau, Ninh Bình và Hà Bắc) với công suất thiết kế khoảng 2,6 triệu tấn/năm [23]. Dự báo tốc độ tăng trưởng CAGR của urea sẽ đạt 1 - 2% đến 2050, khi đó, nhu cầu urea dự kiến đạt khoảng 2,3 triệu tấn/năm vào năm 2030, 2,6 triệu tấn/năm và 2,8 triệu tấn/năm vào các năm 2040 và 2050. Quá trình sản xuất urea truyền thống từ các loại nguyên liệu khí thiên nhiên hoặc than đá phát thải khoảng 0,8 - 1,4 tấn CO₂/tấn urea. Theo xu hướng chuyển dịch năng lượng, các nhà máy sản xuất urea sẽ dần chuyển sang sản phẩm urea xanh được tạo ra từ các nguồn hydrogen xanh (để tạo ra ammonia xanh) và CO₂ thu từ các nguồn khói thải công nghiệp hoặc từ không khí.

Theo đóng góp do quốc gia tự quyết định (NDC) năm 2022, đến năm 2030, lĩnh vực các quá trình sản xuất công nghiệp (IP) giảm 3% lượng phát thải không điều kiện và mức giảm có thể đạt 5,4% nếu có sự hỗ trợ quốc tế.



Hình 5. Dự báo nhu cầu tiêu thụ CO₂ để sản xuất các sản phẩm urea xanh và ethylene/propylene carbonate tại Việt Nam đến năm 2050.

Trong nhà máy sản xuất urea, mục tiêu này có thể đạt được thông qua các giải pháp tối ưu hóa năng lượng, tích hợp năng lượng tái tạo vào hoạt động sản xuất hoặc tích hợp hydrogen xanh với tỷ lệ < 10% vào quy trình sản xuất urea. Với mục tiêu hướng đến đạt net-zero vào năm 2050, Chiến lược Biến đổi khí hậu quốc gia (Quyết định số 896/QĐ-TTg ngày 26/7/2022 [24]) đã đặt mục tiêu giảm 84,8% lượng phát thải vào năm 2050 đối với lĩnh vực IP. Từ sau năm 2030, nỗ lực tăng cường giảm phát thải cùng với sự phát triển công nghệ và giảm chi phí sản xuất sẽ thúc đẩy sản lượng urea xanh nói chung trên thế giới cũng như tại Việt Nam. Mặt khác, tiềm năng dồi dào về năng lượng tái tạo của Việt Nam cũng sẽ tạo ra lợi thế phát triển hydrogen xanh - một nguồn nguyên liệu quan trọng để sản xuất urea xanh. Với giả định các giải pháp như tối ưu hóa năng lượng và tích hợp năng lượng tái tạo có thể đóng góp giảm 10 - 20% lượng phát thải và chi phí sản xuất urea xanh có thể giảm đáng kể trong giai đoạn sau năm 2030. Các nhà máy urea tại Việt Nam sẽ bắt đầu sản xuất urea xanh từ sau năm 2030, hướng đến đạt lần lượt tỷ lệ 20% và 70% tổng nhu cầu urea vào các năm 2040 và 2050, sản lượng urea xanh tương ứng sẽ đạt lần lượt là 520 nghìn tấn/năm và 1,96 triệu tấn/năm vào các năm 2040 và 2050. Mỗi tấn urea xanh được sản xuất sẽ tiêu thụ 0,73 tấn CO₂ thu từ các nguồn khí thải công nghiệp hoặc từ không khí. Theo đó, lượng CO₂ sử dụng cho sản xuất urea xanh sẽ đạt khoảng 380 nghìn tấn/năm và 1,43 triệu tấn/năm vào các năm 2040 và 2050.

5.2. Ethylene carbonate và propylene carbonate

Ethylene carbonate (EC) là thành phần quan trọng trong việc pha chế chất điện phân cho pin lithium-ion và được sử dụng rộng rãi trong xe điện, thiết bị điện tử di động và lưu trữ năng lượng tái tạo. Thị trường EC toàn cầu ước tính đạt 643 triệu USD năm

2025 và dự kiến tăng lên 1.111,4 triệu USD vào năm 2033, với CAGR 7,2% từ 2026 - 2030 [25]. Propylene carbonate (PC) chủ yếu được sử dụng làm dung môi trong các ứng dụng khác nhau, bao gồm pin lithium-ion, đang ngày càng có nhu cầu cao do sự gia tăng của xe điện và các giải pháp năng lượng tái tạo. Thị trường PC toàn cầu được định giá ở mức 0,42 tỷ USD năm 2022 và dự kiến tăng từ 0,45 tỷ USD năm 2023 lên 0,62 tỷ USD vào năm 2030, với CAGR 5,05% [26]. Cả 2 thị trường EC và PC đều có triển vọng tăng trưởng mạnh đến năm 2050, chủ yếu nhờ vào cuộc cách mạng xe điện và nhu cầu lưu trữ năng lượng. EC có tốc độ tăng trưởng cao hơn do vai trò quan trọng trong pin lithium-ion, trong khi PC có ứng dụng đa dạng hơn trong nhiều ngành công nghiệp khác nhau. Theo đó, nhu cầu EC dự báo đạt 0,5 triệu tấn/năm vào năm 2030, 1 triệu tấn/năm vào năm 2040 và 2 - 2,5 triệu tấn/năm vào năm 2050. Tương tự, nhu cầu PC có thể đạt lần lượt 0,3 triệu tấn/năm, 0,5 triệu tấn/năm và 1 triệu tấn/năm vào các năm 2030, 2040 và 2050.

Ethylene carbonate và propylene carbonate được sản xuất trên cơ sở phản ứng giữa epoxides (ethylene/propylene oxides) và CO₂. Theo xu hướng chuyển dịch năng lượng, epoxides được thay thế bằng ethylene/propylene glycols, là những nguyên liệu có thể thu được từ các nguồn tái tạo. Tuy nhiên, công nghệ mới sử dụng nguyên liệu ethylene/propylene glycols đang trong giai đoạn nghiên cứu phát triển và chưa được thương mại hóa. Hiện tại, Việt Nam chưa sản xuất EC và PC, do đó, nhu cầu trong nước được đáp ứng hoàn toàn bằng nhập khẩu ở mức tiêu thụ thấp (khoảng 500 - 1.000 tấn/năm), chủ yếu sử dụng làm dung môi hoặc phụ gia trong các ngành công nghiệp sơn, mỹ phẩm, dược phẩm, chất dẻo, chất bôi trơn... Trong tương lai, khi năng lượng tái tạo và xe điện phát triển mạnh tại Việt Nam, EC và PC sẽ trở thành nguyên liệu quan trọng để sản xuất pin cho xe điện hoặc hệ thống lưu trữ năng lượng tái tạo. Ước tính, từ năm 2040 trở đi, công suất sản xuất EC

và PC tại Việt Nam có thể đạt 1 - 2% sản lượng toàn cầu, tương ứng lần lượt là 15 nghìn tấn/năm và 30 nghìn tấn/năm vào các năm 2040 và 2050, với mục đích sử dụng chính là làm nguyên liệu cho các quá trình sản xuất pin và hệ thống lưu trữ năng lượng. Lượng CO₂ tiêu thụ trên mỗi tấn sản phẩm EC và PC lần lượt là 0,5 tấn/tấn EC và 0,43 tấn/tấn PC. Theo đó, nhu cầu sử dụng CO₂ cho quá trình sản xuất EC và PC là 750 nghìn tấn/năm và 1,5 triệu tấn/năm vào các năm 2040 và 2050. Bên cạnh đó, công suất EC/PC được sản xuất theo công nghệ mới (từ ethylene/propylene glycol) ước tính có thể đạt tỷ lệ 5% và 20% vào các năm 2040 và 2050, tương ứng, 37,5 nghìn tấn/năm và 300 nghìn tấn/năm vào các năm 2040 và 2050. Hình 5 trình bày nhu cầu tiêu thụ CO₂ để sản xuất các sản phẩm urea xanh và ethylene/propylene carbonate tại Việt Nam vào các năm 2030, 2040 và 2050.

6. Khả năng cạnh tranh của các sản phẩm từ CO₂ so với các sản phẩm truyền thống

Thị trường carbon đang dần được hình thành tại Việt Nam. Việt Nam đã phê duyệt Đề án phát triển thị trường carbon với lộ trình thí điểm trong giai đoạn 2025 - 2028 (bao phủ ~50% phát thải CO₂ quốc gia, nhằm vào các lĩnh vực điện, thép, xi măng) và vận hành chính thức từ năm 2029 (Quyết định số 232/QĐ-TTg ngày 24/1/2025 [27]). Theo Quyết định số 263/QĐ-TTg ngày 9/2/2026 [28], Chính phủ đã phê duyệt hạn ngạch khí nhà kính thí điểm cho giai đoạn 2025 - 2026 gồm 34 nhà máy nhiệt điện, 25 cơ sở thép và 51 nhà máy xi măng. Tổng hạn ngạch thí điểm là 243.082.392 tấn CO_{2td} cho năm 2025. Theo Nghị định số 119/2025/NĐ-CP ngày 9/6/2025 [29], Việt Nam đã thiết lập khung ETS (Hệ thống giao dịch phát thải) thí điểm cho ngành điện, thép và xi măng. Các đơn vị tuân thủ có thể mua tín chỉ carbon để bù đắp tới 30% lượng khí thải chịu trách nhiệm trong ETS. Trong giai đoạn đầu, hạn ngạch phát thải được cấp miễn phí nhằm tạo điều kiện thích nghi cho doanh nghiệp. Tuy nhiên, khi ETS vận hành ổn định hơn (sau năm 2028), giá carbon dự kiến tăng, tạo động lực kinh tế rõ ràng cho đầu tư CCUS. Các dự án CCUS tạo ra tín chỉ carbon có thể giao dịch trên ETS và thị trường carbon tự nguyện quốc tế.

Hiện tại, tổng phát thải khí nhà kính của Việt Nam đạt khoảng 726 triệu tấn CO_{2td}/năm (năm 2025) và dự kiến tăng lên 928 triệu tấn CO_{2td}/năm vào năm 2030 theo kịch bản phát triển thông thường (BAU). Đây là nguồn CO₂ tập trung khổng lồ - tiền đề cần thiết cho phát triển sản phẩm CO₂. Theo NDC năm 2022, đến năm 2030, Việt Nam sẽ giảm 15,8% lượng phát thải không điều kiện so với tổng phát thải khí nhà kính theo kịch bản BAU và mức giảm có thể đạt 43,5% nếu có sự hỗ trợ quốc tế. Tại Hội nghị

COP26, Việt Nam đã đưa ra cam kết hướng đến đạt mục tiêu net-zero vào năm 2050 cùng với các quốc gia khác trên thế giới. Như vậy, bên cạnh các giải pháp chuyển dịch năng lượng khác, giải pháp thu hồi và lưu giữ/sử dụng CO₂ (CCUS) cũng sẽ đóng một vai trò quan trọng trong hành trình chuyển đổi xanh của Việt Nam. Theo BloombergNEF (2024) ước tính đến năm 2050, để đạt được mục tiêu net-zero, CCUS có thể đóng góp đến 27% lượng giảm phát thải tại Việt Nam [30].

Trong bối cảnh chuyển dịch năng lượng, các sản phẩm từ CO₂ đang từng bước trở thành một phần quan trọng của nền kinh tế tuần hoàn carbon. Khả năng cạnh tranh của các sản phẩm này so với các sản phẩm truyền thống phụ thuộc vào loại sản phẩm cùng với mức phát triển công nghệ, thị trường, kinh tế và chính sách tương ứng. Xét từ góc độ hiệu quả kinh tế, nhìn chung, chi phí sản xuất hiện tại của phần lớn các sản phẩm từ CO₂ vẫn còn cao hơn so với các sản phẩm truyền thống tương ứng. Theo xu hướng chuyển dịch năng lượng, yêu cầu giảm phát thải carbon để xanh hóa các hoạt động sản xuất sẽ ngày càng được siết chặt, đồng thời, sự hình thành thị trường carbon sẽ đảm bảo tạo ra thị trường cạnh tranh công bằng giữa các sản phẩm xanh nói chung, trong đó có sản phẩm từ CO₂, với các sản phẩm truyền thống. Các yếu tố về mức độ hoàn thiện công nghệ, xu hướng tiêu thụ của người tiêu dùng và sự phát triển thị trường xanh toàn cầu cũng nâng cao hiệu quả cạnh tranh của các sản phẩm xanh và góp phần hình thành nên sự trưởng thành của nền kinh tế tuần hoàn.

Việt Nam là một nước nông nghiệp và đang phát triển với nhu cầu xây dựng tăng cao, vì vậy, urea xanh và bê tông/xi măng xanh sẽ là những sản phẩm có tiềm năng thị trường cao và khả năng thương mại hóa sớm do được sản xuất trên cơ sở cải tiến quy trình hiện có. Trong khi đó, các loại nhiên liệu tổng hợp như e-methanol và e-SAF sẽ trở thành hướng phát triển dài hạn trong lĩnh vực nhiên liệu để đảm bảo an ninh năng lượng do khoảng cách chi phí sản xuất so với sản phẩm nhiên liệu truyền thống còn lớn, yêu cầu đổi mới quy trình công nghệ và chịu sự cạnh tranh của các sản phẩm nhiên liệu thấp carbon khác (ví dụ: nhiên liệu sinh học). Đối với những sản phẩm có sử dụng nguyên liệu hydrogen trong quá trình sản xuất (ví dụ: urea xanh và các loại nhiên liệu tổng hợp), chi phí hydrogen xanh có thể chiếm đến > 50% tổng chi phí sản xuất sản phẩm, chủ yếu bao gồm chi phí điện tái tạo (dùng để điện phân nước) và thiết bị điện phân [31, 32].

Để nâng cao khả năng cạnh tranh của các sản phẩm này trên thị trường, các vấn đề sau cần được giải quyết: (1) Cải tiến và hoàn thiện công nghệ để nâng cao hiệu quả sản xuất; (2) Nâng quy mô công suất sản xuất theo nhu cầu phát triển bền vững; (3) Đảm bảo chuỗi cung ứng và cơ sở hạ tầng đi kèm đối với nguồn

cung CO₂ (đặc biệt là CO₂ thu từ các nguồn phát thải công nghiệp) và hydrogen xanh (nếu cần thiết) và (4) Chính sách phù hợp để tạo cung - cầu và hình thành thị trường cạnh tranh đối với các sản phẩm xanh nói chung và sản phẩm từ CO₂ nói riêng. Với bối cảnh Việt Nam - nguồn CO₂ công nghiệp khổng lồ, áp lực của cơ chế điều chỉnh biên giới carbon từ thị trường xuất khẩu EU và thị trường carbon vừa được thiết lập - cửa sổ cơ hội đang mở ra. Chìa khóa là triển khai đồng bộ: tiêu chuẩn kỹ thuật, định giá carbon đủ mạnh, hỗ trợ tài chính có cấu trúc, đảm bảo chuỗi cung ứng và hạ tầng điện tái tạo giá rẻ. Khi giá điện tái tạo đủ thấp (~3 UScents/kWh) để tạo ra nguồn hydrogen xanh hiệu quả (1 - 1,5 USD/kg), các sản phẩm từ CO₂ có thể cạnh tranh được với các sản phẩm truyền thống tương ứng [32]. Có thể thấy, đến năm 2050, với sự hoàn thiện về công nghệ, chính sách, thị trường và kinh tế trong lĩnh vực sản xuất xanh, một số sản phẩm từ CO₂ có thể cạnh tranh được trực tiếp và dần thay thế các sản phẩm truyền thống.

7. Kết luận

Các hướng tiềm năng để sử dụng CO₂ là sản xuất urea, sản xuất nhiên liệu tổng hợp, các loại vật liệu polymer, nanocarbon, hóa chất xanh và vật liệu xây dựng xanh. Các phân tích và đánh giá đã phác họa một bức tranh rõ nét về tiềm năng phát triển các sản phẩm có thể sản xuất từ CO₂ tại Việt Nam đến các năm 2030, 2040 và 2050 - trong bối cảnh quốc gia đang từng bước thúc đẩy chuyển dịch năng lượng, thực hiện cam kết phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050 và xây dựng nền kinh tế carbon thấp. Như vậy, đến năm 2030, sản phẩm từ CO₂ chủ yếu vẫn dựa trên các sản phẩm truyền thống (urea) đang được sản xuất tại các nhà máy đạm tại Việt Nam. Tuy nhiên, nguyên liệu CO₂ để sản xuất urea chủ yếu được cung cấp bởi nguồn CO₂ từ chính các quá trình công nghệ tại nhà máy trong công đoạn reforming khí thiên nhiên hoặc khí hóa than. Các công nghệ mới để chuyển hóa CO₂ thành các sản phẩm thay thế các sản phẩm truyền thống từ nguồn hóa thạch chủ yếu được triển khai ở quy mô pilot để đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật. Từ sau năm 2030, khi các công nghệ chuyển hóa CO₂ dần hoàn thiện và hiệu quả kinh tế - kỹ thuật được nâng cao, các sản phẩm mới từ CO₂ sẽ dần được phát triển để thay thế các sản phẩm truyền thống trên thị trường, lượng CO₂ yêu cầu cho sản xuất các sản phẩm mới đạt lần lượt khoảng 5,3 và 24,5 triệu tấn/năm vào các năm 2040 và 2050. Có thể thấy, việc đạt được 20% các giá trị tiềm năng này có thể so sánh được với mục tiêu và lộ trình về thu hồi và lưu giữ/sử dụng CO₂ (CCUS) của Chính phủ đã nêu trong Quy hoạch Năng lượng tổng thể quốc gia (Quyết định số 893/QĐ-TTg ngày 26/7/2023 [33]). Tuy nhiên, việc phát triển các tiềm năng sử dụng CO₂ còn phụ thuộc nhiều vào tình hình phát triển công nghệ, giảm chi phí sản xuất và cơ chế chính sách cho việc sử dụng các sản phẩm này.

Tài liệu tham khảo

- [1] World Integrated Trade Solution, "Vietnam methanol (methyl alcohol) imports in 2023". [Online]. Available: <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/VNM/year/2023/tradeflow/Imports/partner/ALL/product/290511>.
- [2] IMARC, "Vietnam methanol market report by application (formaldehyde, dimethyl ether, gasoline, chloromethane, MTBE/TAME, acetic acid, and others), and region 2026 - 2034".
- [3] Rystad Energy, "Sustainable aviation fuel: The fastest growing energy sector?", 19/2/2024.
- [4] IATA, "Global feedstock assessment for SAF production: Outlook to 2050".
- [5] Thủ tướng Chính phủ, *Chương trình hành động về chuyển đổi năng lượng xanh, giảm phát thải khí các-bon và khí mê-tan của ngành giao thông vận tải*, Quyết định số 876/QĐ-TTg, ngày 22/7/2022.
- [6] IEA, "World energy outlook 2025", 12/11/2025.
- [7] Ze Ran and Weisheng Zhou, "Greenhouse gas emissions and economic analysis of e-methane in Japan and China", Sustainability, Volume 17, Issue 8, 2025. DOI: 10.3390/su17083681.
- [8] Roland Berger, "Feasibility and potential of e-methane in the future energy mix", 22/4/2025.
- [9] Danish Sunasra, "E-methane: A promising low-carbon alternative to natural gas", 6/5/2025.
- [10] Jachin Gorrea, Felix Ortloff, and Charlotte van Leeuwen, "Production costs for synthetic methane in 2030 and 2050 of an optimized Power-to-Gas plant with intermediate hydrogen storage", *Applied Energy*, Volume 253, 2019. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.113594.
- [11] IMARC, "Vietnam cement market size, share, trends and forecast by type, end use, and region, 2025 - 2033".
- [12] The Graphene Council, "Virtual Graphene Investor Conference", 24 - 25/2024.
- [13] Grand View Research, "Carbon nanotubes market (2025 - 2030)".
- [14] Conor O'Brien, "Surging CNT capacity enables applications beyond Li-ion batteries", 22/11/2023.
- [15] Marcus Johnson, Jiawen Ren, Matthew Lefler, Gad Licht, Juan Vicini, Xinye Liu, and Stuart Licht, "Carbon nanotube

wools made directly from CO₂ by molten electrolysis: Value driven pathways to carbon dioxide greenhouse gas mitigation", *Materialstoday Energy*, Volume 5, pp. 230 - 236, 2017. DOI: 10.1016/j.mtener.2017.07.003.

[16] TechSci Research, "Vietnam polycarbonate market by type (polycarbonate sheets, polycarbonate tubes/pipes, polycarbonate films, others), by end user (electrical & electronics, automotive, building & construction, aerospace & defense, medical, optical, others), by region, competition, forecast and opportunities, 2018 - 2028F".

[17] Farah Bani Affan, "Direct reaction of carbon dioxide to polycarbonate", *Journal of Ecosystem & Ecography*, 2016. DOI: 10.4172/2157-7625.1000185.

[18] ReportLinker, "Vietnam polyurethane industry outlook 2022 - 2026".

[19] Mobility Foresights, "Vietnam polyurethane market size and forecasts 2030", 26/4/2025.

[20] Caroline Paul, "Global green fertiliser tracker: Greening nitrogen fertiliser production. Agora Industry", 6/6/2024.

[21] IEA, "Ammonia technology roadmap: Towards more sustainable nitrogen fertiliser production".

[22] IRENA, "Innovation outlook: Renewable ammonia".

[23] Kirin Capital, *Báo cáo thị trường phân bón Việt Nam*, 2024.

[24] Thủ tướng Chính phủ, *Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu giai đoạn đến năm 2050*, Quyết định số 896/QĐ-TTg ngày 26/7/2022.

[25] Grand View Research, *Ethylene carbonate market (2026 - 2033)*, 2026.

[26] Market Research Future, "Propylene carbonate market".

[27] Thủ tướng Chính phủ, *Đề án Thành lập và phát triển thị trường các-bon tại Việt Nam*, Quyết định số 232/QĐ-TTg ngày 24/1/2025.

[28] Thủ tướng Chính phủ, *Phê duyệt tổng hạn ngạch phát thải khí nhà kính thí điểm cho năm 2025 - 2026*, Quyết định số 263/QĐ-TTg ngày 9/2/2026.

[29] Chính phủ, *Sửa đổi, bổ sung một số điều của Nghị định số 06/2022/NĐ-CP ngày 07/1/2022 của Chính phủ quy định giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và bảo vệ tầng ô-dôn*, Nghị định số 119/2025/NĐ-CP ngày 9/6/2025.

[30] BloombergNEF, "Net-zero transition: Opportunities for Vietnam", 23/12/2024. [Online]. Available: https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/BNEF_VietnamNZS_EN.pdf?utm_source=chatgpt.com.

[31] Minghui Zhang, Yanan Jiang, Huimin Zhang, Rui Xing, Ningyan Li, Zhengxuan Shao, Yuan Liu, and Xiaoying Xu, "The techno-economic analysis of renewable methanol", *Clean Energy*, Volume 10, Issue 1, pp. 56 - 77, 2026. DOI: 10.1093/ce/zkaf061.

[32] Ehsan Soroodan, Sanger Huang, Dia Milani, Ali Kiani, and Paul Feron, "Techno-economic assessment of green urea production integrated with direct air capture", *Energy Conversion and Management: X*, Volume 26, 2025. DOI: 10.1016/j.ecmx.2025.101015.

[33] Thủ tướng Chính phủ, *Quy hoạch tổng thể về năng lượng quốc gia thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050*, Quyết định số 893/QĐ-TTg ngày 26/7/2023.

[34] Quốc Trung, "Nhu cầu nhiên liệu hàng không có thể tăng 4 lần: HVN, VJC mở đường, PVN, BSR, PLX tăng tốc đón cơ hội", 28/6/2026.

[35] Avinor, "The SAF product journey: Barriers and opportunities for establishing a SAF supply chain in Norway", 12/2025.

[36] Civil Aviation Authority of Singapore (CAAS), "Sustainable air hub blueprint", 12/5/2026.

[37] CSIRO, "Sustainable aviation fuel roadmap".

[38] Department for Transport, "The SAF mandate: An essential guide", 19/12/2024.

[39] European Union Aviation Safety Agency (EASA), 2026 report: ReFuelEU aviation annual technical, 2025.

[40] Government of France, France - Public policy to stimulate SAF production, 2025.

[41] International Energy Agency (IEA). Norway sustainable aviation fuel blending mandate: In line with EU ReFuelEU frameworks, 2025.

[42] Japan Petroleum Energy Center (JPEC), Overview of Japan's sustainable fuels policy and the METI 10% SAF mandate by 2030, 2025.

[43] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "South Korea's SAF expansion drives climate action and market leadership", 10/9/2024.

[44] Official Journal of the European Union, "Regulation (EU) 2023/2405 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 on ensuring a level playing field for sustainable air transport (ReFuelEU Aviation)", 31/10/2023.

[45] U.S. Department of Energy, U.S. Department of Transportation, and U.S. Department of Agriculture, "SAF grand challenge roadmap: Flight plan for sustainable aviation fuel", 2022.

[46] International Trade Administration, "Malaysia energy sustainable aviation fuel", 30/12/2025.

[47] White & Case, "Australia's DCCEEW issues consultation on potential SAF mandate", 24/8/2026.

[48] Yuchao Xu, Yahua Zhang, Xin Deng, Anming Zhang, and Hang Yu, "Navigating the trilemma of sustainable aviation fuel development in China: Status and prospects", *Transport Policy*, Volume 180, 2026. DOI: 10.1016/j.tranpol.2026.104035.

[49] HAN Corporation, "Bê tông bẫy carbon (carbon-curing): vật liệu xanh cho ngành đúc sẵn", 21/10/2026.

[50] Maheshika H.K. Premarathna, Dominik Keiner, and Christian Breyer, "Techno-economic assessment of electricity-based graphene production from atmospheric carbon dioxide as a potential negative emission option", *Journal of Cleaner Production*, 2026.

POTENTIAL PRODUCTS FROM CO₂ IN LINE WITH VIETNAM'S ENERGY TRANSITION TRENDS

Nguyen Huu Luong, Phan Minh Tuan, Le Hong Nguyen

Vietnam Petroleum Institute (VPI), Ho Chi Minh, 71320, Vietnam

KEY WORDS	ABSTRACT
Energy transition, CO ₂ conversion, synthetic fuels, green cement and concrete, green urea.	Promising pathways for CO ₂ utilisation include the production of urea, synthetic fuels, polymer materials, nanocarbons, green chemicals, and green building materials. The analyses and assessments presented herein outline a clear picture of the potential development of CO ₂ -derived products in Vietnam toward 2030, 2040, and 2050 - in the context of the country's progressive energy transition, its commitment to achieving Net-zero emissions by 2050, and its pursuit of a low-carbon economy. Through 2030, CO ₂ -derived products will remain predominantly conventional (urea), already manufactured at existing fertilizer plants in Vietnam. It should be noted, however, that the current CO ₂ feedstock for urea production is primarily sourced from within the plants' own process streams - specifically from natural gas reforming or coal gasification processes. Novel technologies for converting CO ₂ into products that substitute fossil-based counterparts are currently being deployed mainly at pilot scale for techno-economic assessment. From 2030 onwards, as CO ₂ conversion technologies gradually mature and improve in techno-economic performance, new CO ₂ -derived products will progressively displace their conventional equivalents in the market; the volume of CO ₂ required for such new products is projected to reach approximately 5.3 and 24.5 million tonnes per year by 2040 and 2050, respectively. Achieving 20% of these potential values would be broadly comparable to the Government's targets and roadmap for carbon capture, utilisation, and storage (CCUS). Nevertheless, realizing the full potential of CO ₂ utilisation remains highly dependent on technological progress, production cost reductions, and the policy mechanisms governing the uptake of these products.

Corresponding author: Email: luongnh.pvpro@vpi.pvn.vn
Received: 19/1/2026; Revised: 19/1 - 9/4/2026; Accepted date: 9/4/2026
This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)