

01/2024



NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN NỀN KINH TẾ HYDROGEN TUẦN HOÀN

TẦM NHÌN HƯỚNG TỚI VIỆT NAM NET ZERO 2050

TIỀN SĨ: TRẦN THIỆN KHÁNH





NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN NỀN KINH TẾ HYDROGEN TUẦN HOÀN: TRONG TẦM NHÌN HƯỚNG TỚI VIỆT NAM NET ZERO 2050

Tiến sỹ TRẦN THIÊN KHÁNH

Trưởng phòng phát triển khoa học công nghệ và hợp tác quốc tế trường Đại Học Công Nghệ Đồng Nai (DNTU).

Tổng thư ký hiệp hội nghiên cứu phát triển năng lượng Hydro tiên tiến thuộc APEC, phân hội tại Thành Phố Hồ Chí Minh (ACABT-HCM Chapter).

ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh cả thế giới đang chuyển mình hướng tới mục tiêu phát triển xanh và bền vững, những vấn đề: như chuyển dịch năng lượng, giải quyết thiếu hụt tài nguyên, ứng biến với biến đổi khí hậu, và theo đó tạo ra một xã hội an toàn, xanh sạch, hiện đại tại mỗi quốc gia... đang thu hút được rất nhiều sự quan tâm, cũng như đồng thuận trên toàn cầu. Theo kết quả nghiên cứu đến từ những tổ chức uy tín trên thế giới, vai trò của quá trình chuyển dịch năng lượng được xác nhận là giữ vai trò trọng tâm trong công cuộc chuyển mình đạt được mục tiêu xã hội carbon trung tính, thịnh vượng, và giàu cơ hội hướng tới net-zero trong tương lai gần. Nhu cầu sử dụng năng lượng trên toàn thế giới chịu ảnh hưởng sâu sắc từ các yếu tố tự nhiên, sự thiếu hụt và hao mòn tài nguyên thiên nhiên, các tác động xấu đến môi trường trong quá trình sản xuất năng lượng..., bên cạnh đó, diễn biến chính trị phức tạp giữa các quốc gia trong thời gian gần đây cũng góp phần không nhỏ ảnh hưởng nhu cầu này trên toàn thế giới.

Như đã biết, nhu cầu sử dụng năng lượng chính trên toàn thế giới ngày nay được cung cấp chủ yếu từ nguồn nhiên liệu hóa thạch; nguồn nhiên liệu này không thể tái tạo trong tự nhiên và cũng không thể tiếp tục sử dụng một khi đã cạn kiệt. Cùng với đó, vấn nạn phát thải trong quá trình sản xuất năng lượng từ nhiên liệu hóa thạch cũng liên tục tăng mạnh cùng với sự phát triển công nghiệp trên thế giới, điều này tạo ra tác động tiêu cực lên môi trường và được xem tiền đề cho sự biến đổi khí hậu. Theo đó, nhu cầu tìm ra một nguồn năng lượng mới có tiềm năng, và đủ khả năng thay thế cho nguồn năng lượng truyền thống được sản xuất từ nhiên liệu hóa thạch được xem là tất yếu và cực kỳ quan trọng.



Đã có rất nhiều giải pháp được đề ra nhằm giới thiệu nhiều hình thức năng lượng khác nhau trên toàn thế giới, có thể kể đến như: năng lượng hạt nhân, năng lượng tái tạo, năng lượng khí hóa lỏng, các sản phẩm xăng dầu có nguồn gốc sinh học... Tuy nhiên, mỗi một ứng viên kể trên đều kèm theo mình một vài những khuyết điểm khác nhau, và vì thế chưa có nguồn năng lượng thay thế nào thực sự được chọn một cách thuyết phục. Trong bối cảnh đó, năng lượng hydrogen nổi lên như một ứng cử viên sáng giá có thể thay thế một phần, cho đến toàn phần đối với đối tượng nhiên liệu hóa thạch và nhận được rất nhiều sự quan tâm trên toàn thế giới.

Hydrogen là một nguyên tố căn bản của sự sống, có thể được sản xuất thông qua những quy trình khác nhau, trong đó có những giải pháp sản xuất ra các sản phẩm hydrogen sạch như hydrogen lam (blue hydrogen), hydrogen xanh (green hydrogen)... sở hữu năng lượng mạnh mẽ, là một nguồn năng lượng tái tạo, được sản xuất không phát thải, và có giá trị kinh tế cao. Sở hữu mật độ năng lượng cao, quy trình sản xuất đa dạng, và phạm vi ứng dụng rộng rãi, thật dễ nhìn thấy hydrogen đang nhận được rất nhiều sự kỳ vọng có thể thay thế cho nguồn nhiên liệu hóa thạch. Tuy nhiên, để thật sự có thể sản xuất hydrogen trên quy mô lớn, hướng tới mục tiêu xây dựng nền kinh tế hydrogen, và theo đó làm nền tảng xây dựng xã hội carbon trung tính lại là một câu chuyện dài, và đòi hỏi được triển khai theo một lộ trình được thiết kế bài bản.

Lộ trình phát triển ngành công nghiệp hydrogen phải kết hợp được những lợi thế sẵn có của địa điểm sản xuất, sự cập nhật và chọn lựa các công nghệ phù hợp, và tuân theo chính sách phát triển của từng quốc gia, khu vực mà sản phẩm hydrogen cuối cùng được tạo thành. Trên tinh thần đó, việc xây dựng nền kinh tế hydrogen mang tính đặc thù theo mục đích sử dụng, cần được xây dựng theo quy mô từ nhỏ tới lớn, và được triển khai trên nền tảng một mô hình kinh tế có thể phát huy tối đa những lợi thế trong quá trình sản xuất, tạo ra cơ chế linh hoạt trong quá trình lưu trữ - phân phối sản phẩm, cuối cùng là sự thuận tiện trong việc nhân rộng mô hình sản xuất, dễ dàng đưa sản phẩm đến người tiêu dùng, tạo ra giá trị kinh tế bền vững. Ghi nhận tất cả những mối bận tâm đó, khái niệm nền Kinh Tế Hydrogen Tuần Hoàn – Circular Hydrogen Economy ra đời và được dự đoán là mô hình chủ đạo trong ngành công nghiệp hydrogen trên toàn thế giới.



“Nghiên cứu phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn hướng tới mục tiêu Việt Nam net-zero 2050” được trình bày trong ấn phẩm khoa học này nằm trong chương trình nghiên cứu phát triển công nghiệp hydrogen được thực hiện bởi Công ty Cổ Phần Sáng Tạo Xanh Việt Nam (GREEN IN), phối hợp cùng với trường Đại Học Công Nghệ Đồng Nai (DNTU). Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả làm rõ hiện trạng ngành công nghiệp hydrogen trên thế giới và tại Việt Nam, theo đó đề xuất giải pháp xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn có thể áp dụng tại Việt Nam trong tương lai gần.

Việc làm rõ vai trò của nền kinh tế tuần hoàn trong việc thiết lập nền kinh tế hydrogen tuần hoàn giữ vai trò chủ đạo trong nghiên cứu này; mà theo đó những ưu nhược điểm của nền kinh tế tuần hoàn cũng được phân tích, trình bày, thông qua sự so sánh và đúc kết kinh nghiệm từ những case study đã thực hiện tại các quốc gia khác. Cuối cùng, những kết quả được trình bày trong nghiên cứu này tạo ra tiền đề cho việc tiếp cận, xây dựng, phát triển những nội dung liên quan đến nền kinh tế hydrogen, đánh giá mức độ ảnh hưởng, ghi nhận, tiếp thu và đề xuất những giải pháp tháo gỡ khó khăn trong quá trình xây dựng nền kinh tế hydrogen tại Việt Nam.

MỤC LỤC

ĐẶT VẤN ĐỀ.....	1
CHƯƠNG I. NGÀNH CÔNG NGHIỆP HYDROGEN HIỆN ĐẠI VÀ TẦM NHÌN HƯỚNG TỚI KỸ NGUYÊN NĂNG LƯỢNG SẠCH.....	9
1.1. Ngành công nghiệp Hydrogen toàn cầu trên lộ trình tiến tới xã hội trung hòa carbon	9
1.1.1. Hydrogen và câu chuyện khủng hoảng năng lượng toàn cầu.....	9
1.1.2. Hiện trạng ngành công nghiệp hydrogen trên thế giới	11
1.2. Tiềm năng phát triển nền kinh tế hydrogen tại Việt Nam.....	14
CHƯƠNG II: GIẢI PHÁP XÂY DỰNG NỀN KINH TẾ HYDROGEN TUẦN HOÀN	19
2.1. Khái niệm nền kinh tế hydrogen tuần hoàn (Circular Hydrogen Economy)	20
2.2. Sản phẩm và công nghệ sản xuất trong nền kinh tế hydrogen tuần hoàn....	25
2.2.1. Định hướng phát triển từ nguồn thải đến năng lượng/sản phẩm – waste to energy và quá trình xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn	25
2.2.2. Những sản phẩm của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn.....	27
2.3. Phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn: đặc điểm, lộ trình và những bài học kinh nghiệm	32
2.3.1. Những đặc điểm của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn	32
2.3.2. Phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn	34
CHƯƠNG III. NHỮNG THÁCH THỨC VÀ KHÓ KHĂN TRONG VIỆC XÂY DỰNG NỀN KINH TẾ HYDROGEN TUẦN HOÀN.	45
3.1. Quá trình sản xuất hydrogen	45
3.1.1. Vấn đề về quy trình công nghệ.....	45
3.1.2. Vấn đề về quản lý nguồn rác thải	47
3.2. Quá trình lưu trữ hydrogen.....	48



3.2.1. Vấn đề đầu tư và duy trì cơ sở hạ tầng.....	48
3.2.2. Vấn đề chuyển đổi hydrogen (nén và hóa lỏng).....	50
3.2.3. Vấn đề chi phí lưu trữ hydrogen.....	50
3.3. Về vận chuyển hydrogen.....	52
3.4. Quá trình tiêu thụ hydrogen.....	54
3.4.1. Vấn đề an toàn lao động và các yếu tố liên quan đến môi trường.....	54
3.4.2. Vấn đề tiêu chuẩn kỹ thuật và qui định quốc tế	55
CHƯƠNG IV. ĐẶC THÙ NỀN KINH TẾ HYDROGEN TUẦN HOÀN HƯỚNG TỚI MỤC TIÊU XÃ HỘI CARBON TRUNG TÍNH.....	57

DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1. Nguyên nhân chung của vấn đề năng lượng ở các nước đang phát triển.	10
Hình 1.2. Bức tranh chung về triển vọng phát triển ngành năng lượng hydrogen trên thế giới.....	11
Hình 1.3. Dự đoán nhu cầu sử dụng hydrogen từ giai đoạn 2030-2050.	13
Hình 1.4. Tổng quan về quá trình chuyển dịch năng lượng trong giai đoạn 2025-2050.....	17
Hình 2.1. Mô tả sự khác biệt trong mô hình kinh tế tuyến tính và kinh tế tuần hoàn.	21
Hình 2.2. Mô hình kinh tế hydrogen tuần hoàn trong ngành công nghiệp cấp nước.....	23
Hình 2.3. Giải pháp tận dụng ưu thế của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn nhằm tạo ra những sản phẩm giá trị gia tăng có ý nghĩa và những giá trị kinh tế nhất định cho xã hội	24
Hình 2.4. Mô tả quy trình sản xuất năng lượng và sản phẩm giá trị tăng thêm trong hệ thống xử lý nhiệt có kèm theo các giải pháp thu giữ và lưu trữ carbon..	26
Hình 2.5. Đặc điểm quá trình sản xuất hydrogen xanh thông qua phương pháp điện phân nước.	30
Hình 2.6. Quy trình sản xuất hydrogen lam từ nguồn khí tự nhiên và nguồn sinh khối, phế phẩm, rác thải	30
Hình 2.7. Đặc thù mô hình kinh tế hydrogen tuần hoàn	33
Hình 3.1. So sánh chi phí sản xuất hydrogen	47
Hình 3.2 Tiềm năng cơ sở hạ tầng cho nền kinh tế hydrogen.....	49
Hình 3.3. Khuyến khích lựa chọn phương pháp vận chuyển Hydrogen hiệu quả về mặt kinh tế, tùy thuộc vào khoảng cách và mức tiêu thụ.	53



DANH MỤC BẢNG

Bảng 1. Định hướng đầu tư phát triển công nghệ sản xuất hydrogen theo trong giai đoạn 2020 đến 2035 tại một vài quốc gia tiên phong.....	36
Bảng 2. Tóm tắt nội dung và phân tích vai trò các nhóm dự án xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn.	37
Bảng 3. Tổng hợp các chính sách hỗ trợ phát triển hydrogen tại Việt Nam.	39
Bảng 4. Chiến lược và chính sách phát triển ngành công nghiệp hydrogen tại một số quốc gia nổi bật.....	41
Bảng 5. Chi phí lưu trữ hydrogen khí nén trong hai khoảng thời gian 1 và 30 ngày	51
Bảng 6. Tiêu chuẩn phương pháp sản xuất hydrogen sạch ở một số quốc gia...	56

CHƯƠNG I. NGÀNH CÔNG NGHIỆP HYDROGEN HIỆN ĐẠI VÀ TẦM NHÌN HƯỚNG TỚI KỶ NGUYÊN NĂNG LƯỢNG SẠCH

1.1. Ngành công nghiệp Hydrogen toàn cầu trên lộ trình tiến tới xã hội trung hòa carbon

1.1.1. Hydrogen và câu chuyện khủng hoảng năng lượng toàn cầu

Năng lượng đóng một vai trò quan trọng trong sự phát triển của các quốc gia, đặc biệt là trong hoạt động sản xuất công nghiệp, phục vụ tối ưu cho quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa trong thế kỷ 21. Tuy nhiên, những lạm dụng thái quá của nhân loại vào các nguồn nhiên liệu truyền thống như khí đốt, than đá, năng lượng hóa thạch... tạo ra những tác động tiêu cực lên môi trường, đi kèm với đó là hiện tượng biến đổi khí hậu, thiên tai, và những tác hại lên hệ thống kinh tế, cấu trúc sinh thái và sự phát triển xã hội của nhiều quốc gia. Theo đó, nhu cầu tìm ra một giải pháp năng lượng hữu ích trong tương lai trở nên quan trọng và cấp thiết, song song với điều đó, việc tìm ra một nguồn năng lượng khả dĩ sẽ giữ vai trò trung tâm trong giải pháp năng lượng nói trên [1, 2].

Trong những năm gần đây, vấn đề khủng hoảng năng lượng (*thiếu hụt nguyên liệu, quá trình sản xuất gây ra ô nhiễm môi trường, chi phí sản xuất, cung ứng năng lượng bị thay đổi do các yếu tố chính trị phức tạp giữa các quốc gia...*) đã trở thành một mối lo ngại trên khắp thế giới, đặc biệt là tại các quốc gia đang phát triển, và nhóm các quốc gia phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch và những nguồn năng lượng truyền thống. Bên cạnh những nhận thức sớm và hiệu quả trong lĩnh vực ứng phó với khủng hoảng năng lượng đã được triển khai từ những năm 2015-2018 tại các quốc gia phát triển như Mỹ, Trung Quốc, Đức và liên minh Châu Âu, khu vực Đông Nam Á cũng thể hiện mối quan tâm trong lĩnh vực này.

Những vấn đề về năng lượng của các quốc gia, đặc biệt là nhóm quốc gia đang phát triển được mô tả trong hình 1.1. Theo đó, sự khủng hoảng thiếu hụt năng lượng tại các quốc gia có thể xuất phát từ nhiều nguồn, tùy thuộc vào tình hình của từng khu vực, từng quốc gia riêng biệt. Những vấn đề nêu trên cũng cho thấy câu chuyện chuyển đổi sang các nguồn năng lượng tái tạo sạch hơn và an toàn hơn, sẽ tạo ra tiền đề vững chắc nhằm giải quyết vấn đề khủng hoảng năng lượng. Theo đó, việc thúc đẩy các nghiên cứu phát triển công nghệ năng lượng mới một cách hiệu quả, được xem là một giải pháp đúng đắn và cần thiết.



Hình 1.1. Nguyên nhân chung của vấn đề năng lượng ở các nước đang phát triển (nguồn: tác giả).

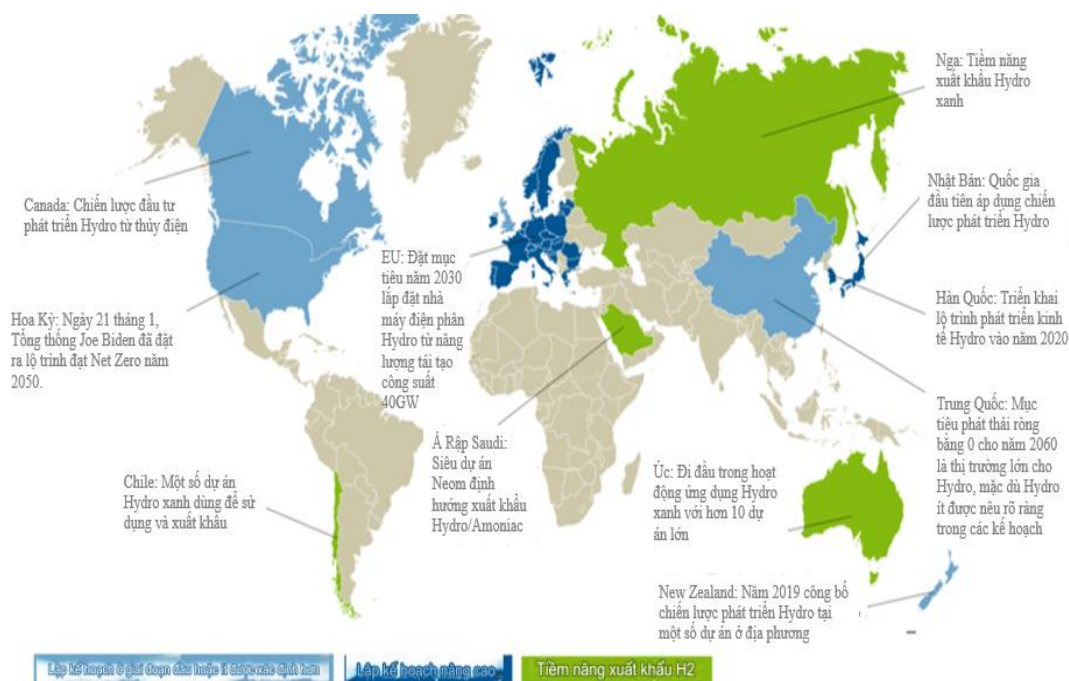
Trong bối cảnh hiện nay, hydrogen đang nổi lên như một ứng viên sáng giá có thể thay thế các nguồn nhiên liệu, năng lượng truyền thống trong việc tạo ra mạng lưới năng lượng tái tạo, sạch hơn, hiệu quả hơn, và an toàn hơn [3, 4]. Hydrogen sở hữu những tính chất hóa-lý tuyệt vời và có thể được ứng dụng rất linh hoạt trong nhiều ngành công nghiệp hiện đại, có thể kể đến như: công nghiệp sản xuất ô tô, công nghiệp năng lượng, công nghiệp thực phẩm, các ngành giao thông vận tải...

Tuy nhiên, để có thể xây dựng nền kinh tế hydrogen và từ đó tạo dựng thành công một xã hội hydrogen, nguồn cung ứng hydrogen từ tự nhiên là quá nhỏ bé, trong khi các phương pháp sản xuất hydrogen truyền thống không thể tạo ra tác động tích cực và không đủ khả năng để phục vụ cho sự phát triển của nhân loại trong thời đại mới. Việc phát triển năng lượng hydrogen được kỳ vọng sẽ tạo ra sự khác biệt, và đem lại những giá trị mới trong kế hoạch năng lượng toàn cầu. Trên tinh thần đó, quá trình phát triển công nghiệp hydrogen mang tính liên ngành và sở hữu những đặc điểm rất khác nhau, tùy thuộc vào đặc thù của những quốc gia, khu vực ứng dụng trên thế giới.

1.1.2. Hiện trạng ngành công nghiệp hydrogen trên thế giới

Một bức tranh chung về tiềm năng phát triển năng lượng hydrogen được thể hiện trong hình 1.2, những chiến lược và tham vọng phát triển hydrogen đã được định hướng tại nhiều quốc gia, đặc biệt là nhóm các quốc gia Châu Âu từ những năm 2015 và vẫn đang phát triển mạnh mẽ, dù cho giai đoạn 2019-2021 đã từng bị ảnh hưởng bởi đại dịch COVID.

Hiện nay, Thụy Sĩ là quốc gia tiên phong trong việc khám phá và ủng hộ các giải pháp năng lượng sạch (*quá trình sản xuất không gây ô nhiễm không khí hoặc nước*), quốc gia này đề ra những lộ trình và chính sách phát triển năng lượng hydrogen dựa trên quan điểm cho rằng hydrogen là một hình thức năng lượng sạch, an toàn, mạnh mẽ và có thể tạo ra những giá trị kinh tế đáng mong chờ [5, 6].



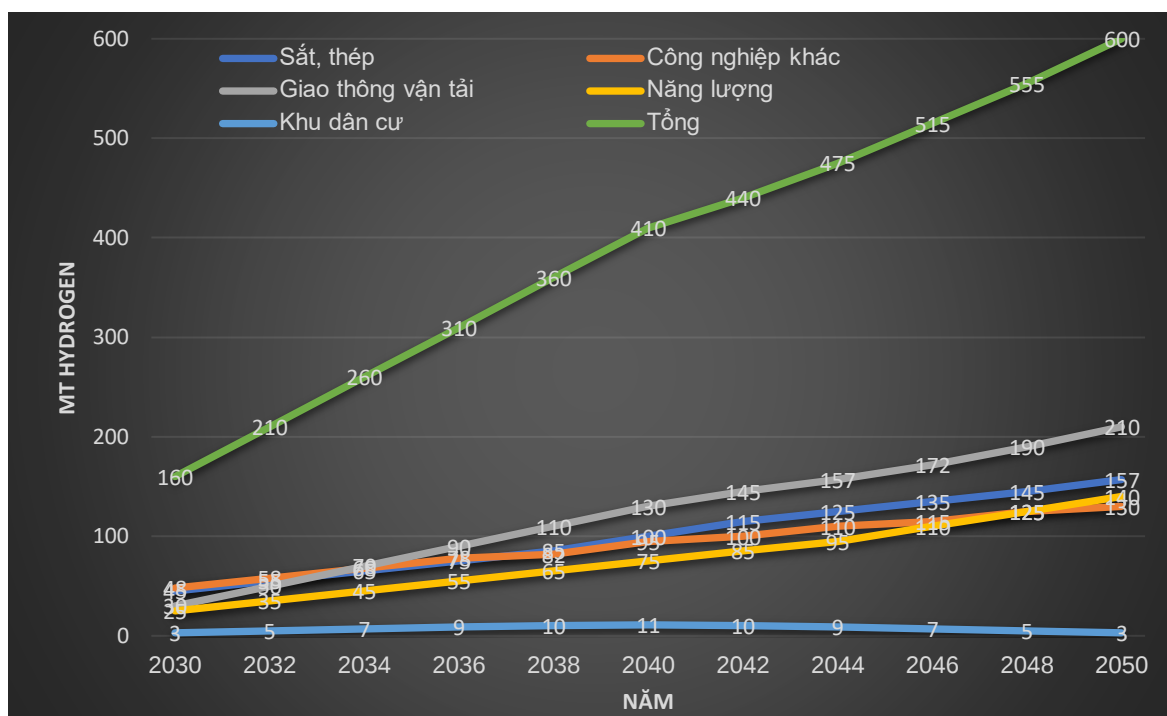
Hình 1.2. Bức tranh chung về triển vọng phát triển ngành năng lượng hydrogen trên thế giới (nguồn: the Ceptconsult, The development of hydrogen energy).



Trên thế giới đang có khoảng 75 cơ sở sản xuất hydrogen đang hoạt động và 150 cơ sở đang trong các giai đoạn lập kế hoạch phát triển (*chủ yếu tại Mỹ và Trung Quốc*) [7]. Mặc dù giá thành sản xuất hydrogen vẫn khá cao so với các loại hình năng lượng tái tạo khác, nhưng các nhà nghiên cứu nhận định chi phí sản xuất trong tương lai sẽ giảm dần nhờ vào sự phát triển và áp dụng các công nghệ tiên tiến [8, 9].

Đặc biệt, nhu cầu sử dụng năng lượng Hydrogen toàn cầu đang ngày một tăng, đồng nghĩa với những cơ hội đầu tư và phát triển ngành công nghiệp hydrogen đang liên tục xuất hiện và hứa hẹn sẽ tạo ra 30 triệu việc làm mới, cùng với đó là nguồn thu nhập lên đến 2,5 nghìn tỷ USD/năm vào năm 2050 [10, 11].

Vào năm 2020 sản lượng hydrogen tiêu thụ được ước tính rơi vào khoảng 87 triệu tấn mỗi năm, trong đó nhu cầu về Hydrogen dự kiến sẽ tăng theo cấp số nhân tùy theo từng nhóm ngành và kéo dài trong giai đoạn 2030 đến 2050 [12]. Theo dự đoán, để đạt được mức phát thải khí nhà kính bằng 0 vào năm 2050, thị trường hydrogen phải đáp ứng được nhu cầu sử dụng (*chủ yếu cung ứng cho ngành giao thông vận tải và các ngành công nghiệp trọng điểm*) với công suất lên tới 170 triệu tấn vào năm 2030. Không dừng lại ở đó, những nghiên cứu dự đoán rằng ngành công nghiệp hydrogen phải đạt gần 600 triệu tấn vào năm 2050, và qua đó duy trì an ninh năng lượng cũng như tạo ra nhiều giá trị đáng mong đợi cho hệ sinh thái hydrogen [13]. Theo Marouani và các cộng sự, nhu cầu sử dụng hydrogen trong sản xuất công nghiệp và giao thông vận tải sẽ phát triển phi mã theo thời gian trong giai đoạn 2035-2045 [14]. Sơ đồ miêu tả quá trình phát triển của nhu cầu tiêu thụ hydrogen được thể hiện trong hình 1.3.



Hình 1.3. Dự đoán nhu cầu sử dụng hydrogen từ giai đoạn 2030-2050 (nguồn: nghiên cứu của Marouani et al., 2023).

Tuy nhiên, nhu cầu tiêu thụ năng lượng hiện nay đang phụ thuộc rất nhiều vào nhiên liệu hóa thạch với hơn 85% lượng điện tiêu thụ toàn cầu (22.850 TWh) được sản xuất từ những quy trình và nhiên liệu truyền thống [15]. Hiện trạng này ngược lại không gây cản trở cho quá trình phát triển của ngành công nghiệp hydrogen mà còn tạo ra động lực thúc đẩy sự thay đổi và phát triển của công nghệ hydrogen (công nghệ sản xuất, lưu trữ và phân phối, công nghệ tiêu thụ hydrogen) từ đó tạo ra nền tảng vững chắc cho việc giảm chi phí đầu tư, lắp đặt và vận hành các công trình hydrogen, tiến gần tới việc hiện thực hóa xã hội hydrogen.

Cơ quan Năng lượng quốc tế (IEA) nhận định, năm 2022 là năm hydrogen chuyển sang giai đoạn trung tâm trong chính sách khí hậu và năng lượng toàn cầu. Báo cáo triển vọng năng lượng thế giới của IEA cho thấy, những lợi thế về chi phí của các công nghệ năng lượng sạch đang dần trưởng thành, tạo ra những tiền đề đầy triển vọng cho những công nghệ sản xuất hydrogen sạch vốn đòi hỏi chi phí đầu tư cao và mang tính liên ngành [16]. Đến cuối năm 2022, hơn 30 quốc gia đã có chiến lược phát triển hydrogen bao gồm các kế hoạch xuất nhập khẩu, cho thấy



thương mại hydrogen xuyên biên giới sẽ tăng trưởng đáng kể. Các quốc gia không có truyền thống trao đổi năng lượng đang thiết lập quan hệ song phương tập trung vào các công nghệ liên quan đến hydrogen. Tùy thuộc vào điều kiện khác nhau của mỗi quốc gia, nền kinh tế, đặc điểm chung là giải pháp phát triển “Hydrogen xanh” đều tham gia vào định hướng chuyển dịch năng lượng và được đầu tư với những cơ chế, chính sách phù hợp [17].

Sự phát triển và tiến bộ của các công nghệ liên quan đến nền kinh tế hydrogen đang được xem là mấu chốt để nâng cao hiệu suất sản xuất năng lượng, trong khi đồng thời cũng rất hiệu quả trong việc giảm dần các chi phí liên quan. Hiện tại, việc phát triển công nghệ sản xuất hydrogen đang tập trung tối đa sự chú ý cho những công nghệ như: điện hóa phân tách nước (*nguồn nước sử dụng có thể được cung cấp từ nước biển, nước mưa, nước thải các ngành công nghiệp nhất định*), nhóm công nghệ nhiệt (*nhiệt phân, khí hóa*) cũng thu hút được sự chú ý từ giới chuyên gia và các nhà đầu tư nhờ vào tính chất linh hoạt, có nền tảng phát triển lâu dài và có thể kết hợp với các ngành công nghiệp khác một cách thuận lợi. Những công nghệ sản xuất hydrogen phụ thuộc vào hai yếu tố về năng lượng: *nguồn năng lượng cung cấp, nguồn nguyên liệu cung cấp*; hai yếu tố về quy trình sản xuất: *những công nghệ phụ trợ, và sản phẩm hydrogen đầu ra*; cuối cùng là yếu tố về lưu trữ và vận chuyển các sản phẩm hydrogen này.

1.2. Tiềm năng phát triển nền kinh tế hydrogen tại Việt Nam

Hiện nay, Việt Nam đã thể hiện sự quan tâm và quyết tâm theo đuổi mục tiêu Net Zero thông qua việc ban hành nhiều chính sách, chương trình, kế hoạch ứng phó với biến đổi khí hậu [18, 19, 20]. Theo đó, nhiệm vụ hạn chế và hướng tới cắt giảm phát thải carbon trong hoạt động sản xuất công nghiệp, giao thông vận tải và các hoạt động dân sự giữ vai trò chủ đạo; vai trò của hydrogen cũng được khẳng định và được xem là trung tâm trong quá trình chuyển đổi năng lượng. Việc phát triển ngành công nghiệp hydrogen là một mục tiêu đầy tham vọng và không hề đơn giản khi mà Việt Nam chưa có những lộ trình riêng cho việc phát triển hình thái năng lượng này, xã hội vẫn phụ thuộc nhiều vào nguồn năng lượng truyền thống, nhiên liệu hóa thạch. Việc phát triển nguồn năng lượng hydrogen, ngành công nghiệp hydrogen đòi hỏi giải pháp phù hợp với cơ sở hạ tầng quốc gia, song song với đó là khả năng tận dụng được những tiềm năng, thế mạnh vốn có của Việt Nam.



Phát biểu của Thủ tướng Phạm Minh Chính ngày 1/11/2022 tại Hội nghị thượng đỉnh Khí hậu COP26 tại Glasgow, Scotland, đã thu hút được sự chú ý của dư luận và truyền thông quốc tế, khi lãnh đạo Việt Nam kêu gọi tất cả các quốc gia cam kết mạnh mẽ về giảm phát thải khí nhà kính, đồng thời “Phải có công bằng, công lý về biến đổi khí hậu”. Thủ tướng khẳng định, mặc dù là nước đang phát triển, mới chỉ bắt đầu tiến hành công nghiệp hóa trong hơn 3 thập kỷ qua nhưng là nước có lợi thế về năng lượng tái tạo, Việt Nam sẽ xây dựng và triển khai các biện pháp giảm phát thải khí nhà kính mạnh mẽ bằng nguồn lực của mình, cùng với sự hợp tác và hỗ trợ về tài chính và chuyển giao công nghệ của cộng đồng quốc tế, nhất là các nước phát triển, trong đó có thực hiện các cơ chế theo Thỏa thuận Paris, để đạt mức phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050.

Như đã trình bày ở trên, nhằm đạt được mục tiêu trung hòa carbon vào năm 2050, Việt Nam cũng đã ký kết tham gia Đối tác chuyển dịch năng lượng công bằng (JETP) trong năm 2022 [21]. Trên tinh thần đó, quy hoạch phát triển điện lực quốc gia và quy hoạch tổng thể năng lượng quốc gia thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 đã xác định phát triển hydrogen xanh là giải pháp đóng vai trò quan trọng không chỉ trong các kịch bản chuyển dịch năng lượng mà còn có thể hướng tới xuất khẩu sang các nước trong khu vực. Như vậy, quá trình chuyển dịch năng lượng sẽ diễn ra và diễn ra sớm tại nhiều quốc gia, có thể bao gồm cả Việt Nam, dù rằng vẫn có nhiều ý kiến trái chiều về vấn đề này.

Theo báo cáo “Fostering Effective Energy Transition” của Diễn đàn Kinh tế Thế giới, quá trình chuyển dịch năng lượng có thể được chia làm 3 giai đoạn chính, các giai đoạn này được mô tả thông qua biểu đồ trong hình 1.4 [22, 23]:

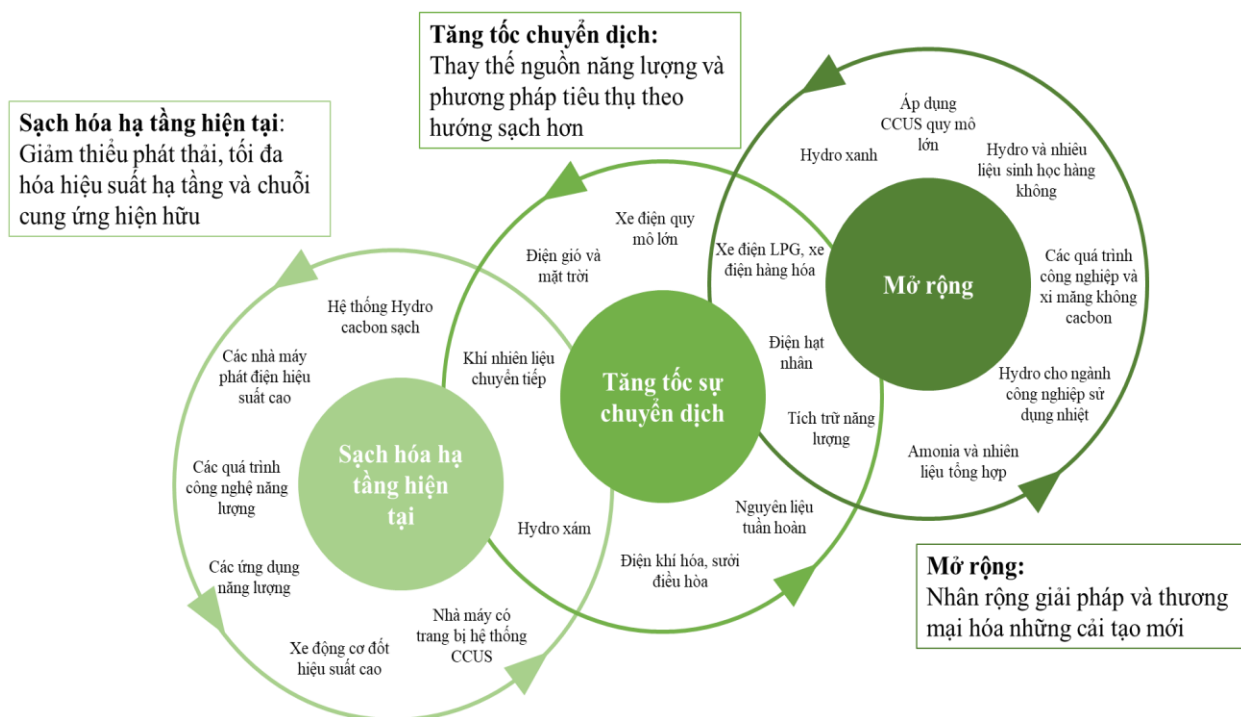
- *Giai đoạn 1:* *Sạch hóa hạ tầng hiện tại.* Mục tiêu làm sạch hạ tầng năng lượng hiện tại, trong đó tập trung vào giảm thiểu phát thải, tối đa hóa hiệu suất hạ tầng năng lượng hiện tại và chuỗi cung ứng năng lượng hiện hữu. Trong giai đoạn này, khí LNG được sử dụng như là nhiên liệu chuyển tiếp cho quá trình chuyển từ sử dụng nhiên liệu hóa thạch sang sử dụng năng lượng tái tạo, như điện mặt trời, điện gió, hydrogen...
- *Giai đoạn 2:* *Đẩy mạnh quá trình chuyển đổi năng lượng* là sự đẩy mạnh chuyển đổi năng lượng, trong đó tập trung vào việc chuyển sang sử dụng các nguồn năng lượng sạch, và thay thế các phương pháp tiêu thụ theo hướng sạch hơn, chẳng hạn như điện khí hóa phương tiện giao thông vận



tải, cũng như các quá trình tiêu thụ năng lượng sưởi ấm, điều hòa, nấu ăn. Để có thể sử dụng được các nguồn năng lượng sạch, trong đó có năng lượng tái tạo biến đổi như điện gió, điện mặt trời, cần phát triển và vận dụng các hệ thống tích trữ năng lượng.

- *Giai đoạn 3:* Mở rộng phạm vi chuyển đổi năng lượng là giai đoạn mở rộng phạm vi chuyển đổi năng lượng, trong đó các giải pháp ở giai đoạn 2 được nhân rộng, bên cạnh đó các sản phẩm năng lượng sạch, như hydrogen xanh, amonia, nhiên liệu tổng hợp được thương mại hóa, tích hợp rộng rãi vào hệ thống năng lượng.

Các chuyên gia tin rằng sản xuất hydrogen xanh, được sản xuất theo công nghệ hướng đến trung hòa khí hậu, là một con đường đầy hứa hẹn để ứng phó nhanh chóng và thành công với biến đổi khí hậu. Sản xuất hydrogen khả thi hơn với dự kiến giảm chi phí và phát thải carbon [24]. Tuy nhiên, ủng hộ cho quá trình chuyển đổi từ nhiên liệu hóa thạch sang nền kinh tế Hydrogen nhằm đáp ứng mức giảm phát thải khí nhà kính 40% vào năm 2030 có thể là một nỗ lực tốn kém, đòi hỏi những tiến bộ công nghệ đáng kể và mô hình ứng dụng như một phần của quá trình chuyển đổi năng lượng mới.



Hình 1.4. Tổng quan về quá trình chuyển dịch năng lượng trong giai đoạn 2025-2050. Theo đó, những lộ trình và nhiệm vụ cần được thực hiện được xây dựng theo mức độ ưu tiên.
(nguồn: cơ quan của năng lượng Việt Nam).

Công nghệ sản xuất hydrogen xanh tại Việt Nam hiện nay mới ở giai đoạn chuẩn bị bắt đầu và đang còn rất nhiều khó khăn về pháp lý, cơ chế hỗ trợ, đặc biệt là các công nghệ tiên tiến này đòi hỏi chi phí đầu tư lớn, rất cần cơ chế hỗ trợ về tài chính. Đại diện Cục Điện lực và Năng lượng tái tạo cho biết, việc phát triển, sản xuất hydrogen xanh còn đang gặp nhiều vướng mắc để phát triển các dự án nguồn điện năng lượng tái tạo để sản xuất hydrogen xanh phải phù hợp với quy hoạch phát triển điện lực, nhu cầu hydrogen xanh các giai đoạn chưa có thẩm quyền phê duyệt. Do đó, khó khăn trong việc quy hoạch nguồn năng lượng tái tạo để sản xuất hydrogen xanh. Ngoài ra, giá thành sản xuất hydrogen hiện nay vẫn còn khá cao dẫn đến việc khó cạnh tranh, trong khi đó, việc tiêu thụ hydrogen cần phải vượt qua rào cản về lợi ích và chi phí đầu tư, vận hành, sản xuất của những ngành công nghiệp có sử dụng hydrogen (*công nghiệp lọc dầu, công nghiệp thực phẩm, công nghiệp sản xuất sắt thép...*), một đối tượng khác cũng rất quan trọng trong quá trình tiêu thụ hydrogen là nhóm ngành giao thông, vận chuyển, cũng chưa nhận được những thông tin cần thiết để bắt đầu dần thân vào hệ sinh thái hydrogen [25, 26].



Sơ lược về những nhiệm vụ quan trọng trong việc thiết lập nền tảng cho quá trình phát triển nền kinh tế hydrogen, ngành công nghiệp hydrogen tại Việt Nam có thể được gợi ý bên dưới. Những thông tin, đặc điểm, và các nội dung được gợi ý cũng được tham khảo từ các kế hoạch cấp quốc gia trong phát triển ngành công nghiệp hydrogen tại các quốc gia như Anh Quốc [27], Trung Quốc [28], Ấn Độ [29]... Như vậy, các gợi ý này có tính tham khảo, và cần được nghiên cứu và phân tích trên phương diện triển khai tại Việt Nam:

Thiết lập khung pháp lý phù hợp trong xây dựng nền kinh tế hydrogen tại Việt Nam: để thúc đẩy nhu cầu về hydrogen ở Việt Nam và xây dựng ngành công nghiệp hydrogen, chính phủ sẽ cần xây dựng các chiến lược và lộ trình với những cột mốc cụ thể. Cũng sẽ cần phải ban hành các quy định mới, để khuyến khích các công ty sử dụng nguồn nguyên liệu sạch, giảm phát thải carbon trong tương lai. Khung này có thể bao gồm:

- Quy định hỗ trợ đầu tư tài sản sản xuất, cơ sở hạ tầng, nhà xưởng.
- Quy định hỗ trợ đổi mới phát triển công nghệ Hydrogen.
- Thiết lập các chế độ chứng nhận, tiêu chuẩn hóa và quản lý phù hợp.

Giải pháp gia tăng nhu cầu sử dụng hydrogen trong sản xuất công nghiệp, tiêu thụ, và hoạt động dân dụng: chính phủ sẽ cần phát huy lợi ích của Hydrogen bằng cách áp đặt các quy định về hạn ngạch hydrogen hoặc khuyến khích chuyển sang sử dụng hydrogen sạch để sản xuất điện. Cách thức để thúc đẩy nhu cầu sử dụng Hydrogen bao gồm các nội dung sau:

- Không khuyến khích các công ty sử dụng nhiên liệu hóa thạch bằng cách áp thuế carbon.
- Xây dựng chỉ tiêu/hạn ngạch sử dụng Hydrogen.
- Yêu cầu sử dụng Hydrogen trong một số ngành công nghiệp, ví dụ như giao thông công cộng.

Phát huy tính cạnh tranh toàn cầu: ưu thế của Việt Nam là quốc gia có vị trí địa lý phù hợp với các mô hình sản xuất hydrogen theo định hướng kinh tế tuần hoàn. Theo đó, việc tạo ra sự cạnh tranh về giá thành sản phẩm lẫn công nghệ sản xuất hydrogen có được nhiều lợi thế. Theo đó, việc tạo ra một cơ chế cạnh tranh toàn



cầu, có lợi ích trong việc kêu gọi những đầu tư và thúc đẩy sự phát triển ngành công nghiệp này.

Như vậy, việc phát triển ngành công nghiệp hydrogen tại Việt Nam sở hữu những lợi thế nhất định về điều kiện địa lý, chủ trương của Đảng và Nhà Nước, và một thị trường sôi động, linh hoạt... Tuy nhiên, những thách thức của quá trình phát triển này cũng không hề đơn giản, khi mà vấn đề khoa học công nghệ chưa bao giờ là điểm mạnh của Việt Nam, trong khi đó, những hướng dẫn, tham vấn cho chính phủ về vấn đề hydrogen vẫn còn hạn chế. Không chỉ riêng Việt Nam, những quốc gia khác trên thế giới cũng đang bước đầu tiếp cận với vấn đề hydrogen và câu chuyện chuyển dịch năng lượng, ứng phó với khủng hoảng năng lượng, và hướng tới xã hội carbon trung tính. Để giải quyết vấn đề nan giải này, những phân sau của nghiên cứu sẽ tập trung vào việc phân tích mô hình phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn – một mô hình mang những tính năng vượt trội của kinh tế tuần hoàn, và định hình lại các vấn đề như công nghệ, sản phẩm hydrogen phù hợp với điều kiện tại nhiều quốc gia, đặc biệt là các quốc gia đang phát triển.

CHƯƠNG II: GIẢI PHÁP XÂY DỰNG NỀN KINH TẾ HYDROGEN TUẦN HOÀN

Như đã trình bày ở trên, việc xây dựng nền kinh tế hydrogen giữ vai trò quan trọng trong nhiệm vụ phát triển ngành công nghiệp hydrogen. Tuy nhiên, dưới áp lực của việc thiếu hụt năng lượng, ô nhiễm môi trường, biến đổi khí hậu và các vấn đề cấp bách khác đã và đang xảy ra tại khắp nơi trên thế giới; nền kinh tế hydrogen phải được thiết lập trên một mô hình kinh tế khác biệt so với mô hình kinh tế tuyến tính truyền thống. Nhằm tận dụng tối đa sự hỗ trợ và các ưu điểm của những mô hình năng lượng tái tạo, các quy trình sản xuất hiện đại, bền vững, nền kinh tế hydrogen cần được triển khai xoay quanh những nền tảng của công cuộc cắt giảm phát thải carbon, ứng dụng công nghệ hiện đại, tận dụng nguồn năng lượng tái tạo, quy trình thu hồi và tái sử dụng tài nguyên rác thải, phế phẩm các quá trình sản xuất sao cho đầu ra của quy trình này có thể trở thành đầu vào của một quy trình khác, một ngành công nghiệp khác.

Bên cạnh đó, những hỗ trợ về mặt chính sách, sự kêu gọi và tính đồng thuận của nhiều thành phần kinh tế, xã hội khác nhau cũng giữ vai trò nhất định trong việc xây dựng nền kinh tế hydrogen phát triển bền vững. Trên tinh thần đó, việc kết



hợp phát triển nền kinh tế hydrogen trên nền tảng kinh tế tuần hoàn khai sinh ra một khái niệm rất đáng mong chờ - nền kinh tế hydrogen tuần hoàn (*circular hydrogen economy*). Nền kinh tế hydrogen tuần hoàn mang những đặc điểm nổi bật về khoa học công nghệ và các đặc thù mô hình kinh tế hiện đại, tất cả mọi yếu tố căn bản đều được xây dựng trên nền tảng tận dụng các ưu điểm của kinh tế tuần hoàn.

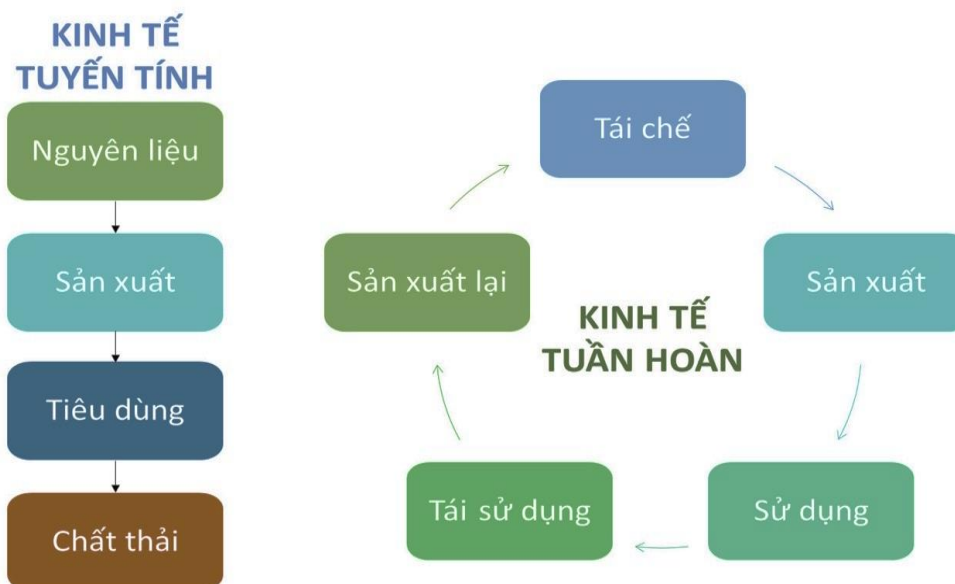
2.1. Khái niệm nền kinh tế hydrogen tuần hoàn (Circular Hydrogen Economy)

Hướng tới yêu cầu của thời đại mới, ngành công nghiệp năng lượng giữ một vai trò quan trọng và được xem là nền tảng cho mọi hoạt động sản xuất, dân dụng, và phát triển đất nước. Vai trò của năng lượng hydrogen được xác định và đánh giá trên toàn thế giới, trong đó việc xây dựng nền kinh tế hydrogen được trông đợi là bước đi tiên quyết để phát triển ngành công nghiệp hydrogen, tiến tới xây dựng xã hội hiện đại sử dụng năng lượng sạch và hạn chế phát thải carbon, hoặc đạt được trạng thái xã hội carbon trung tính. Trên tinh thần đó, việc xây dựng nền kinh tế hydrogen được trông chờ không chỉ tạo ra nền tảng để phát triển công nghiệp hydrogen, sản xuất ra sản phẩm hydrogen, mà còn phải làm được những điều đó một cách bền vững, hiệu quả, an toàn trên cả phương diện hoạt động sản xuất và bảo vệ môi trường.

Đối với nền kinh tế tuyến tính truyền thống, tài nguyên được khai thác, chế biến, trở thành đầu vào của các hoạt động sản xuất, các sản phẩm tạo ra được phân phối đến tay những người tiêu dùng cuối. Những rác thải, phế phẩm của quá trình sản xuất trong mô hình tuyến tính này, cùng với các nguồn thải phát sinh sau quá trình sử dụng sản phẩm sẽ được thu gom và xử lý. Ở đây, nhóm tác giả không đề cập đến hiệu quả những quá trình xử lý nguồn thải sinh ra trong các trường hợp, nhưng nội dung bài viết chỉ ra rằng hình thức vận hành tuyến tính này dẫn đến hiệu suất tận dụng tài nguyên không tối ưu, trong khi cả thế giới đang đối mặt với hiện trạng thiếu hụt tài nguyên và năng lượng. Bên cạnh đó, việc xử lý các nguồn thải vào cuối các quy trình (*sản xuất, tiêu dùng*) cũng tạo ra một áp lực nhất định đối với các bên chuyên trách, điều này gây ra những tác hại lên hệ sinh thái, các giải pháp gìn giữ xanh trái đất, và góp phần thúc đẩy biến đổi khí hậu.

Sự so sánh tương đối giữa mô hình kinh tế tuyến tính truyền thống và kinh tế tuần hoàn được thể hiện trong hình 2.1. Khái niệm kinh tế tuần hoàn được xuất hiện

lần đầu tiên vào năm 1990 trong các ý tưởng của Pearce và Turner [30], trải qua nhiều thay đổi và cập nhật, cuối cùng được giới thiệu phổ biến nhất thông qua các tổ chức uy tín như Ellen McArthur Foundation và công ty tư vấn McKinsey, các nhà khoa học nổi tiếng như Murray, Ghisellini,...[31, 32, 33].



Hình 2.1. Mô tả sự khác biệt trong mô hình kinh tế tuyến tính và kinh tế tuần hoàn. Theo đó mô hình kinh tế tuyến tính tạo ra chất thải ở cuối quy trình và cùng với đó là những áp lực trong quá trình xử lý các phế phẩm, rác thải này. Trong khi đó, mô hình kinh tế tuần hoàn tạo ra cầu nối trong việc giải quyết các nguồn thải một cách hiệu quả và liên tục (nguồn: tác giả).

Theo đó, mô hình này tạo ra cầu nối giữa các quá trình sản xuất và hệ sinh thái liên quan thông qua việc giải quyết các nguồn thải phát sinh một cách liên tục và hiệu quả. Kinh tế tuần hoàn tập trung vào việc giải quyết dòng vận hành của tài nguyên, nguyên vật liệu và ưu tiên xử lý các vấn đề phát sinh trong nội dung đó nhiều hơn là giải quyết các vấn đề từ phương diện tăng nguồn năng lượng đầu vào cho quá trình sản xuất, và tăng cường hiệu suất xử lý rác thải tại cuối các quy trình này. Các mô hình kinh tế tuần hoàn thông qua các quá trình giảm nguồn tài nguyên đầu vào (*reduce*) một cách thông minh cho các quy trình sản xuất, tận dụng tối đa nguồn thải (*reuse*), và tái tạo (*recycle*) các thành phần, nguyên vật liệu phù hợp. Thông qua quá trình quản lý và cải tạo nguồn tài nguyên từ đầu vào đến các nguồn thải, các mô hình sản xuất được xây dựng trên nền tảng kinh tế tuần hoàn tạo ra những giá trị kinh tế, giảm thiểu tối đa gánh nặng đối với quá



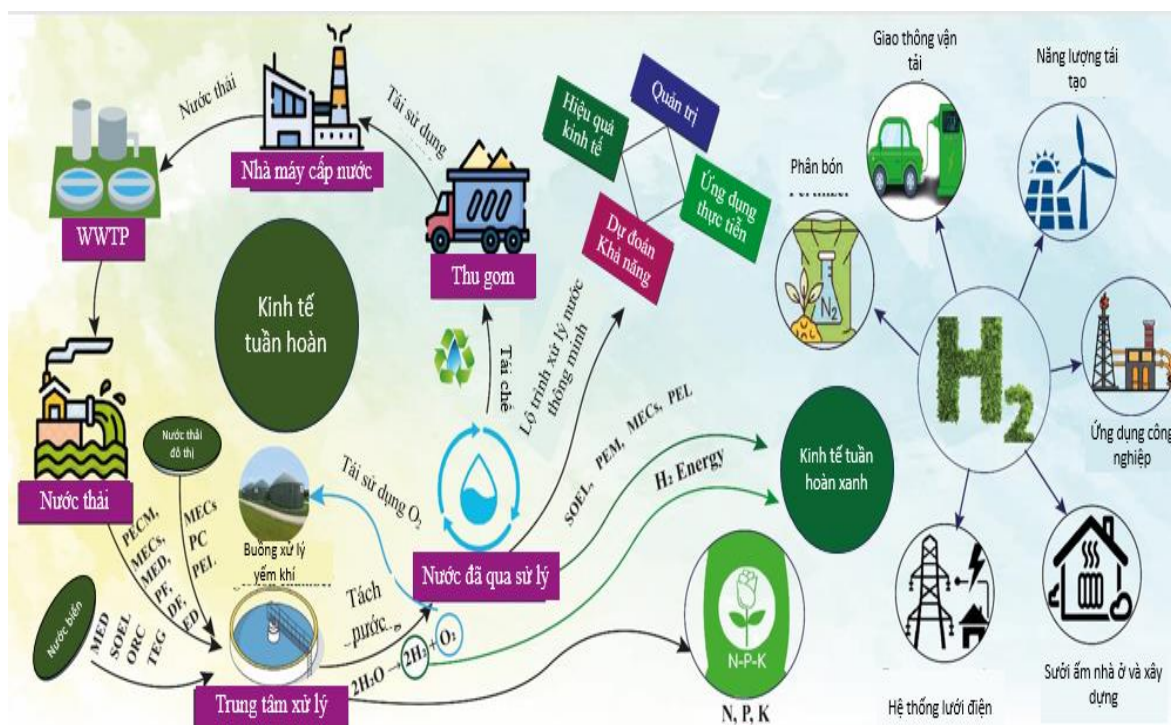
trình cung ứng nguồn tài nguyên, nguyên vật liệu, hạn chế phát thải, và tạo ra những quá trình sản xuất tôn trọng khái niệm nguồn tài nguyên có hạn trên trái đất trong khi không chế lượng rác thải ở mức độ thấp. Trên quan điểm thiết lập nền kinh tế hydrogen, nhóm tác giả nhìn nhận rằng câu chuyện xây dựng nền công nghiệp hydrogen không phải là một nội dung mới.

Thay vào đó, việc tái định hướng quá trình sản xuất hydrogen theo lộ trình hiện đại và đúng với nhu cầu của xã hội, quốc gia trong các giai đoạn tương lai được xem là đóng vai trò chính trong câu chuyện thiết lập nền kinh tế hydrogen hiện đại. Như vậy, mô hình kinh tế tuyến tính cũng tạo ra những sản phẩm hydrogen của mình xuyên suốt các quá trình sản xuất công nghiệp, đặc biệt trong các ngành như công nghiệp lọc hóa dầu, công nghiệp thực phẩm, công nghiệp sắt thép... Thật vậy, mặc dù hydrogen được xem là nguồn năng lượng sạch có thể được sản xuất và sử dụng như một nguồn năng lượng tái tạo, nhưng có đến 95% lượng hydrogen được sản xuất trên toàn cầu có nguồn gốc từ nguồn nhiên liệu hóa thạch truyền thống [34].

Những sản phẩm hydrogen được sản xuất theo phương pháp truyền thống được gọi là hydrogen xám (*grey hydrogen*), hydrogen nâu (*brown hydrogen*) – đây cũng là sản phẩm hydrogen được tạo ra trên nền tảng nền kinh tế tuyến tính truyền thống, thông qua các quy trình SMR (*steam methane reforming*) các nguồn nhiên liệu như khí tự nhiên, hoặc khí methane để sản xuất ra hydrogen xám, hoặc từ nguồn than thông qua các quá trình khí hóa (*gasification*) để tạo ra hydrogen nâu.

Trong khi đó, những sản phẩm hydrogen hướng tới xã hội carbon trung tính và một hệ sinh thái sạch hơn và an toàn hơn phải là các sản phẩm hydrogen lam (*blue hydrogen*), hydrogen hồng (*pink hydrogen*), hay tối ưu nhất là hydrogen xanh (*green hydrogen*). Trong nghiên cứu của Kabir và các cộng sự [35], nền kinh tế hydrogen tuần hoàn được thiết lập trên tinh thần tận dụng nguồn năng lượng tái tạo (*năng lượng mặt trời, năng lượng gió, năng lượng sóng, hoặc năng lượng sinh khối*) để tạo ra sản phẩm hydrogen có mật độ năng lượng cao, thân thiện với môi trường, và có phạm vi ứng dụng rộng rãi; những sản phẩm hydrogen này có thể được tạo ra từ quá trình phân tách nước (*nước biển, nước mưa, nước thải công nghiệp...*) để tạo thành hydrogen xanh (*green hydrogen*), hoặc thu được từ quá trình nhiệt phân các phế phẩm nông nghiệp, rác thải hữu cơ, kèm với các kỹ thuật

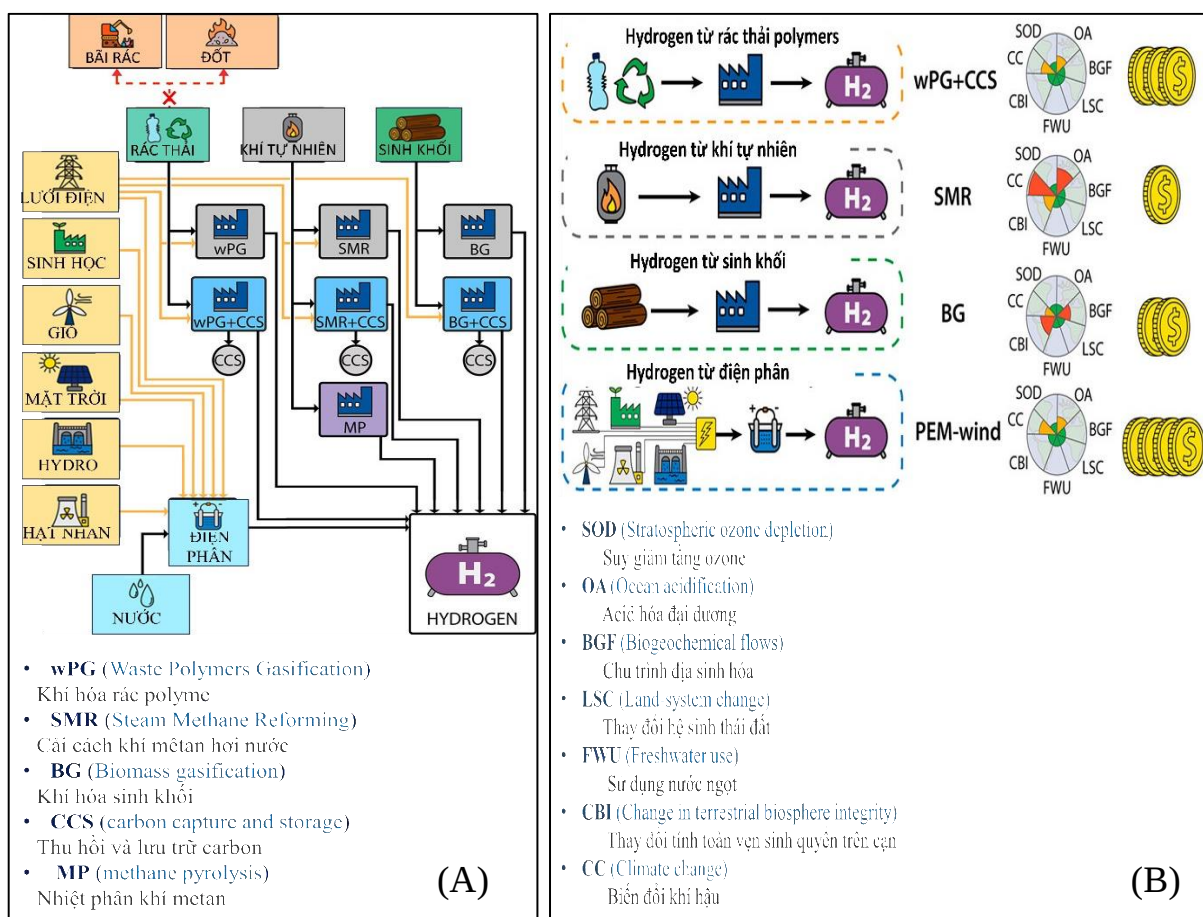
lưu trữ và thu giữ carbon (*carbon capture and sequestration*) để tạo ra hydrogen lam, hoặc tận dụng nguồn năng lượng hạt nhân để phân tách nước tạo ra hydrogen hồng (*pink hydrogen*)...



Hình 2.2. Mô hình kinh tế hydrogen tuần hoàn trong ngành công nghiệp cấp nước. Việc thiết lập mô hình sản xuất hydrogen kết hợp với ngành công nghiệp xử lý và cấp nước tạo ra một xu thế mới và quan trọng cho nhóm ngành này, thông qua đó có thể tạo ra các giá trị kinh tế tăng thêm từ sản phẩm hydrogen, bên cạnh việc duy trì hiệu quả xử lý nước và cung cấp nguồn nước sạch cho cộng đồng (nguồn: nghiên cứu của Kabir et al., 2023).

Giải pháp tận dụng các nguồn tái tạo và sản xuất ra sản phẩm hydrogen trên nền tảng kinh tế tuần hoàn thu hút được nhiều sự chú ý và được xem là sự khởi đầu cần thiết cho quá trình tiếp cận với nền công nghiệp năng lượng hydrogen hiện đại của thời đại mới. Những gợi ý về mô hình nền kinh tế hydrogen tuần hoàn được mô tả trong hình 2.3 A. Nền kinh tế hydrogen tuần hoàn tạo ra những giá trị tăng thêm về mặt kinh tế và cũng góp phần nhất định trong việc giảm áp lực lên các ngành liên quan như năng lượng và xử lý phát thải. Thật vậy, trong một nghiên cứu được công bố gần đây, các nhà khoa học đến từ Viện Nghiên Cứu Công Nghệ Hóa và Công Nghệ Sinh Học, Thụy Sĩ đã chỉ ra rằng việc xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn là một xu thế đúng đắn trong phát triển nền công

nghiệp hydrogen thông qua việc tạo thêm giải pháp cho việc xử lý/quản trị nguồn rác thải, dễ dàng kết hợp với các ngành công nghiệp khác để tạo ra sản phẩm đầu ra có giá trị, và sinh ra nguồn lợi lớn, bền vững trong tương lai đến từ việc kinh doanh các sản phẩm giá trị gia tăng từ hydrogen. Giải pháp tận dụng ưu thế của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn được trình bày trong hình 2.3 B.



Hình 2.3. Giải pháp tận dụng ưu thế của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn nhằm tạo ra những sản phẩm giá trị gia tăng có ý nghĩa (A). Bên cạnh việc tận dụng được nguồn thải từ các ngành công nghiệp khác nhau, nền kinh tế hydrogen tuần hoàn có thể được áp dụng một cách linh hoạt, tạo ra hydrogen, nước sạch, và những giá trị kinh tế nhất định cho xã hội (B).
(nguồn: nghiên cứu của Cecilia Slah et al., 2023).

Theo những mô tả trong hình 2.3 B, nguồn năng lượng cung cấp cho quá trình sản xuất hydrogen là rất đa dạng, không những thế, những quá trình xử lý rác thải như chôn lấp và đốt rác hoàn toàn có thể được tinh giảm đối với những đối tượng rác thải phù hợp cho nhu cầu sản xuất hydrogen. Sự kết hợp với các kỹ thuật thu



giữ và lưu trữ carbon phù hợp tạo ra những mô hình sản xuất hydrogen linh hoạt, phù hợp với nhiều yêu cầu sản xuất khác nhau. Mỗi một mô hình sản xuất hydrogen đều có khả năng tạo ra những giá trị kinh tế khác biệt. Theo đó, những mô hình sản xuất hydrogen hiện đại như điện phân nước và sản xuất từ nguồn polymer phế thải sẽ dần dần chiếm ưu thế và sinh ra nhiều giá trị hơn.

2.2. Sản phẩm và công nghệ sản xuất trong nền kinh tế hydrogen tuần hoàn

Khác với sản phẩm hydrogen đến từ nền kinh tế tuyến tính truyền thống, những sản phẩm hydrogen của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn phải sở hữu những tính chất ổn định, bền vững, được sản xuất từ quy trình hạn chế phát thải carbon, và có giá trị kinh tế cao. Tuy nhiên, điều đó không có nghĩa rằng các quy trình sản xuất truyền thống không thể tạo ra các sản phẩm hydrogen phù hợp với yêu cầu hiện đại, hoặc bản thân các quy trình này không còn phù hợp để vận hành. Khoa học công nghệ luôn luôn phát triển theo chiều hướng phù hợp với nhu cầu sản xuất, với hiệu suất cao hơn, tiết kiệm nhiên liệu và năng lượng hơn – các công nghệ sản xuất hydrogen cũng vậy, liên tục phát triển và tự hoàn thiện. Bên cạnh những công nghệ đã xuất hiện từ lâu, khái niệm “từ nguồn thải-đến-năng lượng/sản phẩm” có giá trị (“*waste-to-energy*”) được xem là một định hướng phát triển công nghệ phù hợp với các mô hình kinh tế hydrogen tuần hoàn và hứa hẹn sẽ phát triển hơn nữa trong tương lai.

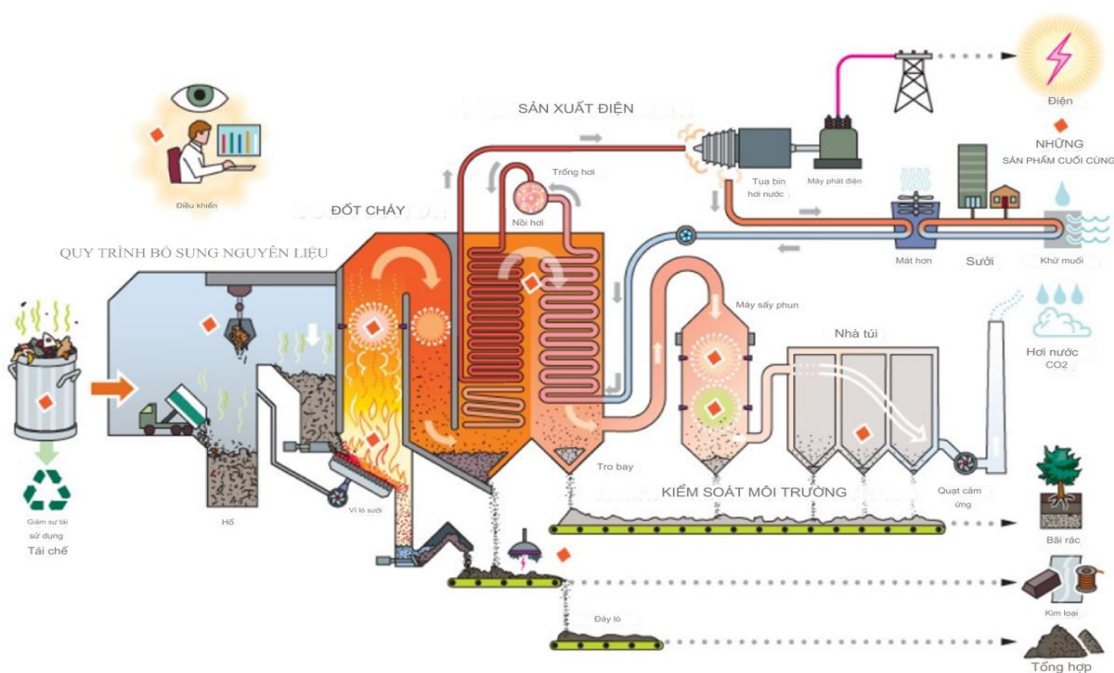
2.2.1. Định hướng phát triển từ nguồn thải đến năng lượng/sản phẩm – *waste to energy* và quá trình xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn

Waste-to-energy tạm dịch “từ nguồn thải -đến-năng lượng/sản phẩm” là một khái niệm định hướng sự phát triển của những ngành công nghệ có khả năng tận dụng triệt để nguồn thải của một hoặc nhiều ngành công nghiệp làm nguyên liệu đầu vào cho một hoặc nhiều quá trình khác nhau, nhằm tạo ra sản phẩm là những giá trị gia tăng từ các nguồn thải. Quá trình chuyển hóa này cũng ưu tiên sử dụng năng lượng sạch, năng lượng tái tạo và các quy trình hạn chế phát thải carbon để tạo ra sản phẩm trên tinh thần tôn trọng công cuộc bảo vệ môi trường, ứng biến với biến đổi khí hậu [36, 37].

Quá trình thu hồi năng lượng từ nguồn thải, hoặc từ nguồn thải-đến-năng lượng/sản phẩm là một quy trình thu hồi năng lượng; loại hình năng lượng thu

được trong quá trình này có thể là điện năng, nhiệt năng hoặc sự kết hợp của cả hai hình thái năng lượng này. Những công nghệ nổi bật trong quy trình sản xuất năng lượng/sản phẩm từ nguồn thải có thể kể đến như: các quy trình nhiệt (quá trình thiêu đốt – *incineration*, quá trình khí hóa – *gasification*, hay quá trình nhiệt phân – *pyrolysis*...), các quy trình chuyển hóa rác thải nhựa, các quy trình sinh học không gia nhiệt (quá trình lên men, quá trình kỵ khí...).

Theo tổ chức Clean Energy Wire, các quá trình nhiệt được xem là chủ đạo trong chuyển hóa và sản xuất năng lượng/sản phẩm từ nguồn thải; các quá trình nhiệt có thể tạo ra đa dạng các sản phẩm và có thể được kết hợp linh động vào các ngành công nghiệp khác nhau [38]. Tuy nhiên, do đặc thù bề gãy các liên kết vật chất bằng nhiệt độ cao, nên việc sinh ra hỗn hợp khí phân tích có chứa thành phần carbon dioxide cao đã đòi hỏi các quy trình nhiệt kể này phải được kết hợp chặt chẽ với các kỹ thuật thu giữ và lưu trữ carbon. Một ý tưởng về việc ứng dụng kỹ thuật nhiệt tiên tiến trong sản xuất năng lượng được trình bày trong hình 2.4 dưới đây.



Hình 2.4. Mô tả quy trình sản xuất năng lượng và sản phẩm giá trị tăng thêm trong hệ thống xử lý nhiệt có kèm theo các giải pháp thu giữ và lưu trữ carbon. (nguồn: deltaway energy).



Theo mô hình được mô tả trong hình 2.4, rác thải được thu gom và vận chuyển đến hệ thống xử lý nhiệt; rác thải được đốt hoàn toàn và sinh ra 3 sản phẩm chính: nguồn hơi quá nhiệt, các sản phẩm giàu carbon, và lượng dầu sinh học sinh ra trong quá trình tác động nhiệt. Lượng sản phẩm giàu carbon (*biochar*) có thể được tận dụng trong lĩnh vực sản xuất phân bón, làm bê tông, ... và phục vụ như một giải pháp lưu trữ carbon hiệu quả. Lượng khí phân tích sinh ra bao gồm hydrogen và các thành phần khí khác như methane, carbon monoxide, carbon dioxide... được xử lý thông qua các quá trình hóa học để thu giữ các nguồn carbon phát sinh, thu hydrogen như một sản phẩm giá trị gia tăng. Cuối cùng, lượng hơi quá nhiệt phục vụ như nguồn cung cấp năng lượng cho các turbine và tạo ra điện năng.

Có thể thấy rằng, mô hình này được phát triển từ các mô hình nhà máy nhiệt điện truyền thống, nhưng có kèm theo hệ thống thu giữ và lưu trữ carbon, hệ thống tách lọc và thu giữ hydrogen, và tập trung vào xử lý nguồn rác thải nhằm tạo ra các sản phẩm có giá trị. Như vậy, quy trình waste-to-energy từ nguồn thải-đến-năng lượng/sản phẩm này có thể thực thi được nhiệm vụ tận dụng rác thải như một nguồn tài nguyên, các quy trình có thể được tính toán và căn chỉnh phù hợp với nhu cầu khác nhau. Trên khía cạnh xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn, khái niệm sản xuất năng lượng từ nguồn thải có thể phục vụ tối ưu trên cơ sở tận dụng những quy trình kiểm soát dòng tài nguyên hiệu quả và ứng dụng những công nghệ hiện đại trong việc tạo ra sản phẩm hydrogen; không những thế, còn tạo ra những sản phẩm có giá trị cho người dùng cuối nhưng vẫn tuân theo nguyên tắc hạn chế phát thải carbon, và giảm nhẹ gánh nặng đối với nhóm ngành xử lý rác thải.

2.2.2. Những sản phẩm của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn

Như đã trình bày ở trên, sản phẩm hydrogen đa dạng và liên tục được cập nhật trong những năm gần đây; điều này đồng nghĩa với việc mối quan tâm dành cho sản phẩm này ngày càng tăng, theo đó những thành tựu khoa học kỹ thuật liên quan cũng liên tục phát triển và bước ra ánh sáng. Trên phương diện phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn, những sản phẩm của nó phải thỏa những điều kiện như:

- Là sản phẩm hydrogen được sản xuất từ nguồn nguyên liệu đầu vào là phế thải đầu ra của một ngành công nghiệp khác (*nước thải công nghiệp, phế*



phẩm ngành công nghệ thực phẩm...) hoặc là một nguồn nguyên liệu có thể tự tái tạo và có nguồn gốc từ tự nhiên (*sinh khối, nước biển, nước mưa...*).

- Quy trình sản xuất hydrogen được thực hiện kèm với các kỹ thuật lưu trữ và thu giữ carbon hiệu quả, hạn chế tối đa sự phát thải trong quá trình sản xuất. Bản thân các công nghệ sản xuất hydrogen được thiết kế quy trình xử lý phát thải và hạn chế phát thải hiệu quả.
- Nguồn năng lượng cung cấp cho quá trình sản xuất hydrogen này thường là điện năng, nhiệt năng được sinh ra từ nguồn năng lượng tái tạo. Bên cạnh việc sử dụng công nghệ thân thiện với môi trường và tận dụng nguồn thải từ các ngành công nghiệp khác, việc sử dụng năng lượng sạch hạn chế phát thải để sản xuất hydrogen cũng giữ vai trò quan trọng.
- Sản phẩm hydrogen tạo ra có giá trị kinh tế, phạm vi ứng dụng rộng rãi, và có thể được linh hoạt lưu trữ dưới nhiều phương thức khác nhau.

Như vậy, gần như có thể chia nhóm sản phẩm hydrogen thành các hạng mục chính: nhóm sản phẩm hydrogen truyền thống là kết quả của nền kinh tế hydrogen truyền thống, nhóm sản phẩm hydrogen là kết quả của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn. Đối với nhóm sản phẩm hydrogen của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn, các sản phẩm lại được chia ra thành 2 nhóm chính: nhóm sản phẩm hydrogen tinh khiết, và nhóm sản phẩm hydrogen tích hợp kỹ thuật xử lý phát thải carbon. Dưới đây, nghiên cứu sẽ làm rõ các nhóm sản phẩm là kết quả của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn cùng với đó là những thành quả, cũng như các thông tin về công nghệ tối ưu để tạo ra những sản phẩm này.

Sản phẩm hydrogen xanh (green hydrogen): hydrogen xanh là sản phẩm có giá trị kinh tế tốt nhất mà nền kinh tế hydrogen tuần hoàn có thể tạo ra. Hydrogen xanh có mật độ năng lượng cao, độ tinh khiết cao, được tạo ra trong một quá trình phân tách nước hoàn toàn không có sự tham gia của các sản phẩm khí tạp khác [39, 40]. Hydrogen xanh được tạo ra từ quy trình điện phân tách nước (*electrolysis*) nhằm tạo ra hydrogen thông qua các phản ứng xung quanh khu vực điện cực âm – được gọi là *cathodic reaction*, trong khi oxygen được sinh ra tại cực dương thông qua phản ứng *anodic reaction*, nguồn năng lượng được cung cấp cho quá trình điện hóa hoạt động đến từ nguồn năng lượng tái tạo. Những đặc

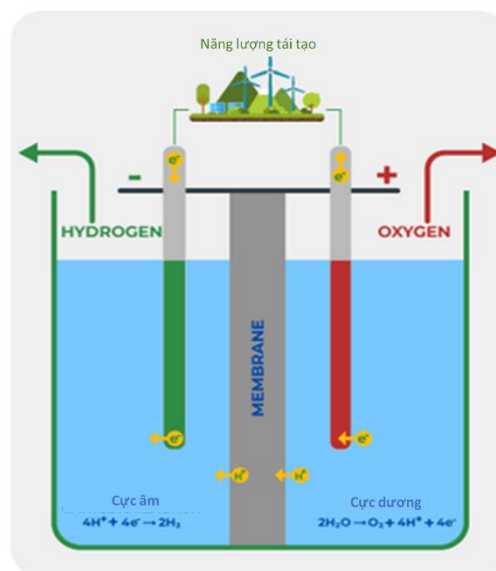
điểm của quy trình điện hóa phân tách nước và tạo ra sản phẩm hydrogen xanh được mô tả trong hình 2.5. Có rất nhiều nhận định về hydrogen xanh được xây dựng xung quanh bộ điện hóa tách nước (*the electrolyzer*), phần nhiều thảo luận về cách làm giảm giá thành bộ điện hóa, hoặc cải thiện chất lượng của các cặp điện cực; tuy nhiên, nhìn nhận này là chưa đủ và chưa chính xác, vấn đề nguồn nước mới thật sự đáng được quan tâm.

Thông qua nhiều nghiên cứu [41, 42], và một nghiên cứu chuyên sâu của chính tác giả đã được đăng trên tạp chí uy tín Applied Energy Materials, thuộc nhà xuất bản American Chemical Society trong năm 2023 [43], việc hiểu biết về nguồn nước cần dùng để phân tách và sinh ra sản phẩm hydrogen mong muốn giữ vai trò tiên quyết và cần được thực hiện ưu tiên. Sau đó, các tùy biến và chọn lựa về mặt kỹ thuật điện hóa có thể được thực hiện để hoàn thành việc xây dựng quy trình điện hóa.

LÀM THẾ NÀO ĐỂ THU ĐƯỢC HYDRO XANH ?

Sản xuất hydro xanh bằng điện phân từ các nguồn tái tạo, phân hủy các phân tử nước (H_2O) thành Oxy (O_2) và Hydro (H_2)

- 1 Nước dùng để điện phân phải chứa muối và chất khoáng để dẫn điện
- 2 Hai điện cực được ngâm trong nước và nối với nguồn điện
- 3 Sự phân tách Hydro và Oxy xảy ra khi các điện cực hút các ion có điện tích trái dấu với nhau
- 4 Quá trình điện phân xảy ra phản ứng oxy hóa – khử do tác dụng của dòng điện

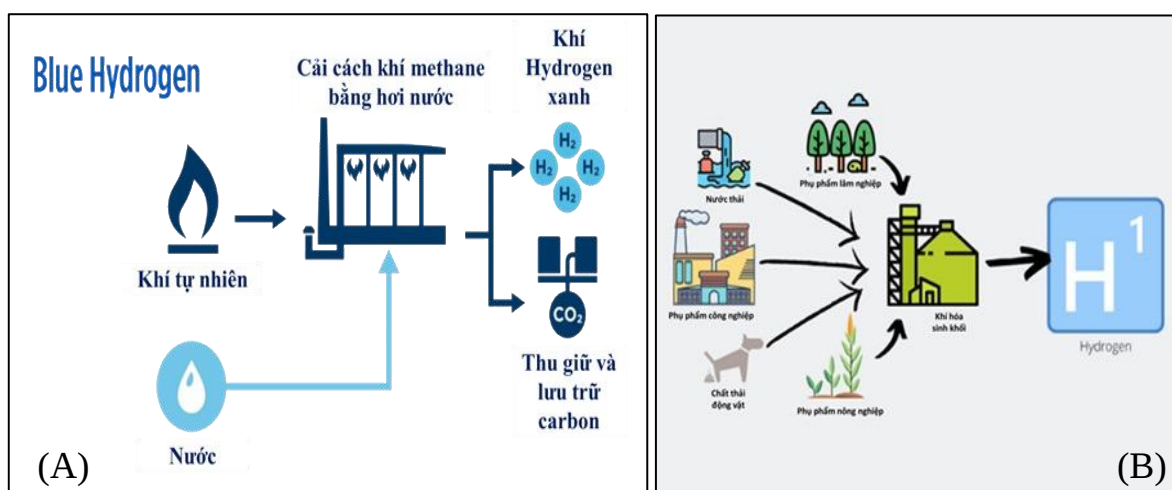


Hình 2.5. Đặc điểm quá trình sản xuất hydrogen xanh thông qua phương pháp điện phân nước. (nguồn:geeks for geeks).

Sản phẩm hydrogen hồng (pink hydrogen): hydrogen hồng cũng thuộc nhóm sản phẩm hydrogen tinh khiết và là kết quả của quy trình sản xuất theo định hướng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn. So với nhóm sản phẩm hydrogen xuất hiện trước: hydrogen xám, hydrogen nâu, hydrogen lam, và hydrogen xanh, sản phẩm hydrogen hồng thuộc nhóm thế hệ thứ 2.

Quy trình sản xuất hydrogen hồng quy mô công nghiệp hiện vẫn đang trong quá trình phát triển, loại sản phẩm hydrogen này đôi khi còn được nhắc đến trong một số tài liệu dưới tên là hydrogen tím hoặc hydrogen đỏ. Quá trình sản xuất hydrogen hồng cũng phụ thuộc vào quy trình điện hóa phân tách nước và tạo ra sản phẩm hydrogen hạn chế phát thải với độ tinh khiết cao. Tuy nhiên, nguồn năng lượng cung cấp cho quá trình sản xuất này đến từ năng lượng hạt nhân. Việc tận dụng nguồn năng lượng hạt nhân để sản xuất hydrogen là một ý tưởng quan trọng và có thể giúp bình ổn kế hoạch năng lượng ở nhiều quốc gia có ngành năng lượng hạt nhân phát triển.

Đặc thù quy trình sản xuất hydrogen hồng khác với quy trình điện hóa phân tách nước thông thường, quy trình điện hóa sản xuất hydrogen hồng được gọi là quy trình điện hóa nhiệt độ cao (*HTE – high temperature electrolysis*) [44, 45].



Hình 2.6. Quy trình sản xuất hydrogen lam từ nguồn khí tự nhiên (A) và nguồn sinh khối, phế phẩm, rác thải (B). Các quy trình sản xuất hydrogen lam kế thừa đặc thù khoa học công nghệ



từ các quy trình truyền thống, và kết hợp chặt chẽ với các kỹ thuật xử lý phát thải trong quá trình sản xuất (nguồn: the burns & mcdonnell).

Trong các quy trình được diễn giải ở hình 2.6, có thể nhận ra yếu tố kỹ thuật của các quy trình này được thừa hưởng từ những quy trình truyền thống. Sản phẩm hydrogen được sản xuất thông qua các kỹ thuật truyền thống như reforming (*cải cách hơi nước/khí metan*) hoặc gasification (*khí hóa*), nguồn nguyên liệu của quá trình được sử dụng linh hoạt và những yêu cầu kỹ thuật trong quá trình vận hành sản xuất hydrogen quen thuộc với thực trạng sản xuất của nhiều ngành công nghiệp [46, 47]. Tuy nhiên, việc kết hợp chặt chẽ với các kỹ thuật lưu trữ và thu giữ carbon, cũng như các quy trình xử lý phát thải khác trong quá trình vận hành góp phần tối quan trọng trong việc tạo ra các sản phẩm hydrogen lam thay vì các sản phẩm không phù hợp với mô hình kinh tế hydrogen tuần hoàn như: hydrogen nâu, xám,... Việc phân loại và đánh giá các sản phẩm hydrogen vẫn đang diễn ra mạnh mẽ và được cập nhật liên tục trên toàn thế giới. Tuy nhiên, sự phân loại của sản phẩm hydrogen có thể được nhìn nhận một cách đơn giản hơn với góc nhìn như sau: nhóm 1 – các sản phẩm hydrogen tinh khiết cao được sản xuất trực tiếp; nhóm 2 – các sản phẩm hydrogen được sản xuất với sự hỗ trợ của các công nghệ lưu trữ và thu giữ carbon; nhóm 3 – các sản phẩm hydrogen mới đang trong giai đoạn thử nghiệm.

Trong bài viết này, tác giả không đề cập đến những sản phẩm hydrogen đang được xem là tiềm năng và có thể phù hợp với nền kinh tế hydrogen tuần hoàn; có thể kể đến sản phẩm hydrogen vàng *yellow hydrogen* (*hydrogen được sản xuất thông qua quá trình điện hóa phân tách nước, nhưng sử dụng nguồn điện thừa trên lưới để vận hành hệ thống điện hóa*), hay hydrogen xanh ngọc *turquoise hydrogen* (*hydrogen được sản xuất từ quy trình nhiệt phân methane, có áp dụng các kỹ thuật xử lý phát thải trong quá trình sản xuất*).

Trên tinh thần đó, những kỹ thuật sản xuất hydrogen tinh khiết từ việc phân tách nước đòi hỏi chi phí đầu tư cao và trình độ khoa học kỹ thuật vượt trội để tiếp nhận và vận hành các quy trình. Việc vận hành các mô hình thí điểm cũng giữ một vai trò rất quan trọng trong việc xây dựng các quy trình sản xuất hydrogen tinh khiết. Đối với các quốc gia đang phát triển như Việt Nam, những lợi thế về mặt địa lý và chủ trương là chưa đủ để xúc tiến các quy trình sản xuất hydrogen



trình khiết, trong khi Việt Nam nói riêng và các quốc gia Đông Nam Á nói chung hoàn toàn có thể đóng vai trò cầu nối trong mạng lưới vận chuyển và lưu trữ năng lượng hydrogen, từ đó mở rộng xã hội hydrogen trên nền tảng kinh tế hydrogen tuần hoàn. Trên khía cạnh sản phẩm và các quy trình sản xuất hydrogen, sản phẩm hydrogen lam *blue hydrogen* được xem là phù hợp nhất với điều kiện cơ sở vật chất tại Việt Nam. Bên cạnh đó, việc đang giữ vai trò là một quốc gia có nền nông nghiệp phát triển, Việt Nam cũng hưởng lợi rất nhiều từ nguồn sinh khối, phế phẩm nông nghiệp khổng lồ mà hàng năm có thể tích lũy được một cách đều đặn.

2.3. Phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn: đặc điểm, lộ trình và những bài học kinh nghiệm

Trong phần này của nghiên cứu, những nội dung như đặc điểm nền kinh tế hydrogen tuần hoàn, lộ trình phát triển, và vấn đề tiếp thu những kinh nghiệm quý giá từ các quốc gia có nền kinh tế hydrogen phát triển sẽ được đề cập. Theo đó, việc xác định được vai trò và các sản phẩm hydrogen phù hợp với nền kinh tế hydrogen tuần hoàn sẽ góp phần tích cực thống nhất các đặc điểm quan trọng của một nền kinh tế hydrogen được thiết lập trên nền tảng kinh tế tuần hoàn. Lộ trình phát triển và xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn được đề xuất dựa trên việc thống nhất các quan điểm, đặc thù của nền kinh tế hydrogen mong muốn; từ đó, các lộ trình phù hợp được thiết lập, lựa chọn và thống nhất.

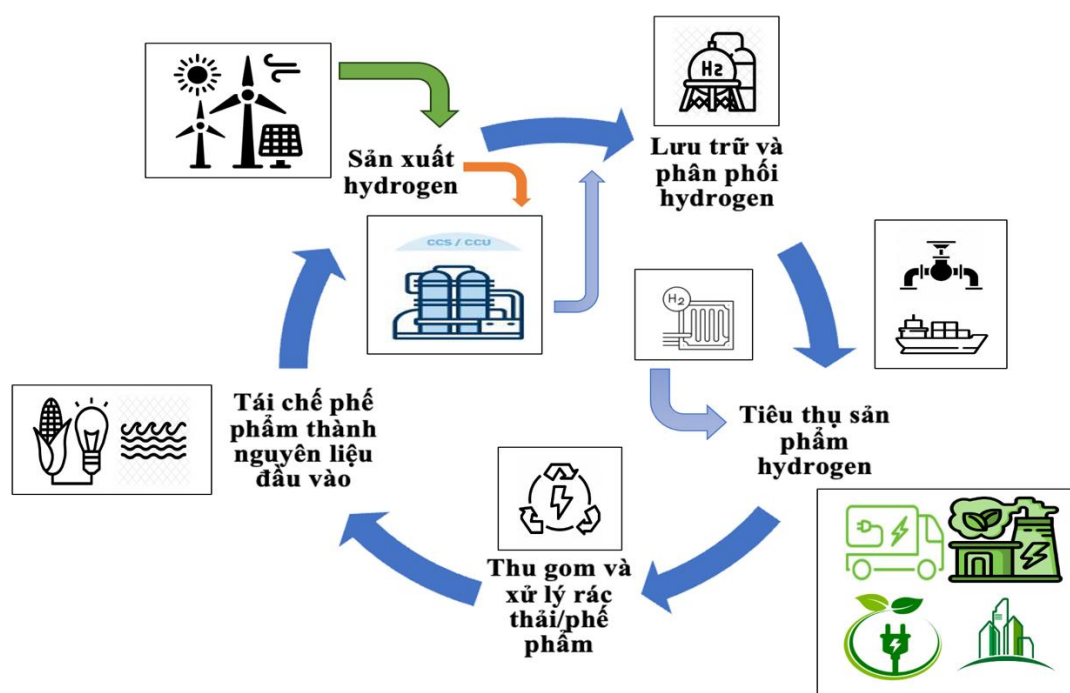
Cuối cùng, những bài học kinh nghiệm từ quá trình phát triển ngành công nghiệp hydrogen hiện đại vẫn còn non trẻ và đang tiếp tục phát triển của các quốc gia tiên phong góp phần quan trọng trong việc tiết kiệm thời gian, công sức, và xác định được những điểm mấu chốt trong công cuộc tiến tới thiết lập nền kinh tế hydrogen tuần hoàn trong tầm nhìn hướng đến xã hội carbon trung tính trong tương lai.

2.3.1. Những đặc điểm của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn

Nền kinh tế hydrogen được thiết lập dựa trên việc xây dựng ba yếu tố tiên quyết: quá trình sản xuất hydrogen được xem là đầu nguồn *upstream* – tạo ra sản phẩm hydrogen, mạng lưới phân phối và hệ thống lưu trữ hydrogen được xem là yếu tố chuyển tiếp *midstream* – vận chuyển sản phẩm đến nơi tiêu dùng, và quá trình tiêu thụ hydrogen được xem là quá trình kết thúc chuỗi cung ứng *downstream* với các sản phẩm hydrogen. Tuy nhiên, nền kinh tế hydrogen tuần hoàn tiến tới một

bước mới trong việc hoàn thành chuỗi cung ứng sản phẩm hydrogen – quá trình tận dụng nguồn thải và đưa các phế phẩm này trở thành một nguồn tài nguyên có thể giữ vai trò là đầu vào của chính các quá trình sản xuất hydrogen. Trên tinh thần đó, đặc điểm của nền kinh tế hydrogen phải được xác định thông qua bốn yếu tố có liên quan đến nhau: các công nghệ sản xuất hydrogen, quá trình vận chuyển và lưu trữ hydrogen, tiêu dùng hydrogen, cuối cùng là những quá trình tận dụng phế phẩm trong và ngoài ngành sản xuất hydrogen để làm nguyên liệu đầu vào cho quá trình sản xuất ban đầu. Mô hình nền kinh tế hydrogen tuần hoàn được diễn giải trong hình 2.7.

Bên cạnh các quy trình sản xuất hydrogen và các sản phẩm của nó đã được đề cập ở các phần trên, việc tận dụng kỹ thuật lưu trữ và thu giữ carbon đóng vai trò quan trọng trong việc hoàn thành vấn đề thượng nguồn của chuỗi cung ứng sản phẩm hydrogen trong nền kinh tế tuần hoàn; trong khi đó, việc sử dụng công nghệ pin điện hóa *fuel cell* cho phép quá trình tiêu thụ hydrogen được diễn ra một cách linh hoạt, hiệu quả.



Hình 2.7. Đặc thù mô hình kinh tế hydrogen tuần hoàn. (nguồn: tác giả).



Các công nghệ lưu trữ và thu giữ carbon (Carbon capture, storage, and utilization CCS/CCUS): nhóm các công nghệ này được xem là quả đấm trực diện trong cuộc chiến với quá trình phát thải trong sản xuất công nghiệp, đời sống và được xem là nhóm giải pháp tức thời, trực diện nhất. Khuyết điểm của nhóm công nghệ này là chi phí đầu tư cao, tốn kém trong quá trình vận hành, và yêu cầu trình độ khoa học kỹ thuật cao để duy trì vận hành. Bên cạnh đó, các yếu tố liên quan đến việc lưu trữ lượng carbon thu giữ được sẽ trở nên ngày càng khó khăn và đòi hỏi sự chú ý, ưu tiên xử lý của các nhóm ngành liên quan.

Công nghệ pin điện hóa (Fuel Cell): nhóm công nghệ pin điện hóa là trái tim và cầu nối quan trọng của việc đưa năng lượng hydrogen vào đời sống trong kỷ nguyên mới. Về mặt lý thuyết, công nghệ pin điện hóa nhận hydrogen (*lỏng, khí nén*) và kết hợp với nguồn oxygen để tạo ra các phản ứng điện hóa phát sinh năng lượng, dòng điện, trong khi rác thải của quá trình này là hơi nước. Ứng dụng hữu ích nhất của nhóm công nghệ pin điện hóa là trong công nghiệp chế tạo phương tiện giao thông,

Đã có nhiều công ty sản xuất xe ô tô nổi tiếng thế giới tập trung vào sản xuất sản phẩm xe điện sử dụng pin điện hóa (*Fuel Cell Electronic Vehicles – FCEVs*); các sản phẩm xe ô tô FCEVs điển hình có thể kể đến như: Toyota Mirai hay Hyundai Nexon. Không dừng lại ở đó, công nghệ pin điện hóa fuel cell được hứa hẹn trở thành công cụ then chốt để sản xuất ra dòng điện sạch từ nguồn năng lượng tái tạo trong tương lai gần.

2.3.2. Phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn

Chiến lược phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn có nhiều điểm tương đồng giữa các quốc gia đang tiên phong trong lĩnh vực này như: Trung Quốc, Đức, và nhóm các quốc gia Châu Âu khác [48, 49, 50]. Theo đó, định hướng phát triển nền kinh tế hydrogen tại các quốc gia kể trên được triển khai dựa trên bốn vấn đề trọng điểm với nội dung phát triển công nghệ và chính sách hỗ trợ làm trọng tâm:

- Vấn đề đầu tư nghiên cứu và phát triển công nghệ, giải pháp khoa học (R&D).

- Vấn đề phát triển dự án hydrogen (*các dự án được định hướng đa dạng và chia thành các nhóm như: dự án phát triển nguồn nhân lực, dự án phát triển vùng nguyên liệu, dự án quản lý vận hành chung, và các dự án phát triển chuỗi cung ứng sản phẩm hydrogen*).
- Vấn đề xây dựng chính sách hỗ trợ.
- Vấn đề ứng dụng có lộ trình nội dung năng lượng hydrogen vào công nghiệp.

Việc chuyển đổi năng lượng, ứng dụng năng lượng hydrogen được triển khai có ý nghĩa và hiệu quả nhất được xác định là trong nhóm các ngành công nghiệp (*công nghiệp thực phẩm, phân bón xanh, lọc dầu, sắt thép...*) và các ngành giao thông vận tải [51, 52].. Theo đó, quá trình phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn phải được nhìn nhận theo các định hướng sau:

- Sử dụng năng lượng hydrogen phục vụ đắc lực cho nhiệm vụ cắt giảm phát thải carbon, hướng tới mục tiêu Việt Nam Net-zero.
- Việc xây dựng nền kinh tế hydrogen phải được thực hiện trên nền tảng kinh tế tuần hoàn: tập trung vào nhiệm vụ quản lý nguồn tài nguyên và sử dụng các nguồn thải phù hợp để làm đầu vào cho quá trình sản xuất hydrogen.
- Nền kinh tế hydrogen tuần hoàn có liên hệ mật thiết với nền kinh tế carbon, các vấn đề chứng chỉ carbon và có tính liên ngành sâu sắc (*linh hoạt trong tận dụng các nguồn nguyên liệu khác nhau, sử dụng nguồn năng lượng khác nhau, và có thể ứng dụng được vào nhiều quy trình sản xuất khác nhau*).

Vấn đề đầu tư phát triển khoa học công nghệ (R&D Investment): theo Metrics, hơn 50% các bằng sáng chế liên quan đến công nghệ sản xuất hydrogen được phát triển và sở hữu bởi Trung Quốc, tính từ thời điểm đầu năm 2018 đến kết thúc năm 2021 [53]. Như đã trình bày ở các phần trên, việc xác định sản phẩm hydrogen giữ vai trò quyết định trong định hướng phát triển R&D – liên quan đến công nghệ sản xuất chính và các công nghệ phụ trợ cho quá trình tạo ra sản phẩm liên quan. Định hướng phát triển R&D đối với sản phẩm hydrogen sạch (*được*

sản xuất thông qua các quá trình hạn chế phát thải carbon) của các quốc gia tiên phong được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Định hướng đầu tư phát triển công nghệ sản xuất hydrogen theo trong giai đoạn 2020 đến 2035 tại một vài quốc gia tiên phong.

Chiến lược quốc gia	<i>Kế hoạch trung hạn và dài hạn phát triển công nghiệp năng lượng hydrogen (2021-2035)</i>	<i>Chiến lược hydrogen quốc gia (2020-2030)</i>	<i>Chiến lược hydrogen hướng tới Châu Âu trung tính (2020-2035).</i>
Sản phẩm hydrogen trọng tâm	<i>Xám, Xanh.</i>	<i>Xanh.</i>	<i>Lam, Xanh.</i>
Sản lượng hydrogen dự kiến	<i>100-200 ngàn tấn hydrogen sạch vào năm 2025.</i>	<i>5GW vào năm 2030.</i>	<i>6GW và 1 triệu tấn vào năm 2024. 40 GW và 10 triệu tấn vào năm 2030.</i>
Hạn mức đầu tư dự kiến	<i>-</i>	<i>9 tỷ Euro</i>	<i>Đầu tư phát triển hệ thống điện hóa: 24-42 tỷ Euro. Tổng giá trị đầu tư tính đến 2050: 180-470 tỷ Euro.</i>

Theo những thông tin được cung cấp trong bảng 1 (tổng hợp từ Ban Phát Triển và Định Hình Quốc Trung Quốc, Bộ Liên Hiệp Hợp Tác Kinh Tế và Năng Lượng Đức, và Ủy Ban Châu Âu), cả ba đối tượng cung cấp thông tin đều là những quốc gia phát triển, có nền kinh tế mạnh mẽ và nguồn lực to lớn cho các đầu tư phát triển khoa học công nghệ trong lĩnh vực năng lượng hydrogen [54, 55]. Trong đó, sản phẩm hydrogen lam và xanh được xem là trọng tâm, trong khi vai trò của hydrogen xám/nâu tại Trung Quốc bị kiềm hãm và buộc phải kết hợp với các quá trình giảm thải carbon. Trên quan điểm đánh giá về chiến lược đầu tư cho hoạt động phát triển khoa học công nghệ tại những quốc gia đang phát triển, trong đó có Việt Nam, nhóm tác giả xác định vai trò của sản phẩm hydrogen lam từ nguồn

biomass được xem là trọng tâm của ngành công nghiệp sản xuất hydrogen tại Việt Nam trong tương lai gần.

Vấn đề phát triển dự án hydrogen sạch (low carbon hydrogen): việc phát triển những dự án hydrogen sạch liên quan mật thiết và đóng vai trò quan trọng trong nội dung hiện thực hóa nền kinh tế hydrogen tuần hoàn. Thừa hưởng thành quả từ hoạt động R&D được triển khai hiệu quả, những dự án phát triển hydrogen sạch (low carbon hydrogen) được dẫn dắt bởi các viện nghiên cứu, trường đại học có uy tín kết hợp với các công ty, doanh nghiệp (*ưu tiên các đơn cùng khu vực với đơn vị nghiên cứu*) và chịu sự đồng quản lý, đầu tư từ nguồn ngân sách nhà nước (*trường hợp của Trung Quốc, với chương trình Đầu Tư Trọng Điểm Quốc Gia NKPs*) [56]; hoặc được đầu tư từ các quỹ quốc tế, cơ quan đa quốc gia (*trường hợp dự án Leeds City Hydrogen H21, Anh Quốc*) [57]. Tại Việt Nam, chương trình phát triển dự án (PDP) cũng lưu tâm và nhắc đến vai trò trọng tâm của nhiệm vụ phát triển hydrogen xanh, tuy nhiên các thông tin và dự án cụ thể vẫn chưa bắt đầu triển khai. Bên cạnh những điểm gợi mở trong Quy Hoạch Điện VIII mới đây, Việt Nam cũng cập nhật tiến độ phát triển ngành công nghiệp hydrogen thông qua Quyết Định 893 và Quyết Định 165; Theo đó, vạch ra kế hoạch chuẩn bị nguồn năng lượng, nguyên liệu cho các quy trình sản xuất hydrogen trong tương lai gần, cũng như lập ra lộ trình và phương án triển khai các kế hoạch nhằm phát triển ngành công nghiệp hydrogen một cách bền vững, và khả thi theo định hướng xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn. (*Phụ lục 1 cung cấp thông tin liên quan đến lộ trình phát triển ngành công nghiệp hydrogen tại Việt Nam*). Theo đó, những định hướng và phân tích về các nhóm dự án trọng điểm trong việc phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn được tóm tắt trong bảng 2.

Bảng 2. Tóm tắt nội dung và phân tích vai trò các nhóm dự án xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn.

	Nhóm dự án phát triển nguồn nhân lực phục vụ ngành công nghiệp hydrogen: Đây là nhóm dự án cần được chú trọng phát triển trong giai đoạn 2020 – 2030, những dự án này không những tập trung vào nội dung xây dựng đội ngũ cho ngành công nghiệp hydrogen, mà còn tạo ra đội ngũ chuyên gia đầu ngành trong lĩnh vực kinh tế tuần hoàn. Đối với những quốc gia đang phát triển, hoặc có ngành công nghiệp hydrogen đang trong giai đoạn thiết lập ban đầu, việc tiếp thu các bài học kinh nghiệm, công trình khoa học kỹ thuật và các hoạt động chuyên
---	---

	giao công nghệ phụ thuộc nhiều vào trình độ nguồn nhân lực liên quan trong nhóm ngành này.
	Nhóm dự án sản xuất hydrogen sạch: Nhóm dự án này được ưu tiên triển khai ở các quốc gia như Trung Quốc, Đức, Liên Minh Châu Âu, và các quốc gia có nguồn lực mạnh mẽ khác. Việc xác định sản phẩm hydrogen mong muốn đóng vai trò chủ đạo trong việc triển khai các dự án nhóm này (<i>đặc thù khoa học công nghệ, vốn đầu tư, cơ sở vật chất, các thuận lợi nhất định của các quốc gia...</i>). Công nghệ điện hóa phân tách nước Electrolysis đang giữ vai trò trung tâm trong câu chuyện công nghệ sản xuất hydrogen tại nhiều quốc gia như Mỹ, Trung Quốc (<i>hiện dẫn đầu thế giới về số bằng sáng chế, các công trình sản xuất hydrogen tiên tiến</i>), Đức, Nhật Bản, và Anh Quốc.
	Nhóm dự án phát triển năng lượng hydrogen trong ngành giao thông vận tải: Các sản phẩm hydrogen được xây dựng sớm nhất và hiệu quả nhất trong nhóm ngành giao thông vận tải. Có rất nhiều các công trình xe ô tô DCEVs sử dụng pin điện hóa đã được công bố (<i>Toyota Mirai, Hyundai Nexa</i>), các công trình xe bus (<i>Hydrogen Bus Hyundai</i>), tàu hỏa điện hóa Alstom Coradia iLint (<i>Đức</i>) (<i>đầu tiên và duy nhất trên toàn thế giới</i>) đã được đưa vào vận hành từ 2019. Những phương tiện giao thông FCEVs được sử dụng và tạo ra tiền đề để cả thế giới xử lý bài toán thiếu hụt năng lượng và ô nhiễm không khí, khi mà phát thải của những phương tiện này là hơi nước.
	Nhóm dự án ứng dụng năng lượng hydrogen trong sản xuất công nghiệp: Mục tiêu chính của việc ứng dụng hydrogen trong các ngành công nghiệp nặng là để cắt giảm phát thải carbon. Những dự án thí điểm ứng dụng hydrogen trong sản xuất sắt thép, công nghệ thực phẩm, nhà máy lọc dầu... đã và đang được triển khai và diễn ra ở nhiều quốc gia phát triển trên thế giới. Đối với những quốc gia đang phát triển, việc chuyển dịch năng lượng trong công nghiệp sang sử dụng hydrogen cần được triển khai cùng với các nhóm dự án sản xuất hydrogen, và được ưu tiên sau nhóm dự án dành cho ngành giao thông vận tải.
	Nhóm dự án lưu trữ và vận chuyển hydrogen: Nội dung lưu trữ và vận chuyển hydrogen giữ vai trò là cầu nối cho nhóm thượng tầng sản xuất hydrogen và nhóm hạ tầng tiêu thụ hydrogen, sao cho chuỗi cung ứng sản phẩm hydrogen được bảo đảm. Trên tinh thần đó, việc lưu trữ và vận chuyển hydrogen được xem là giải pháp hữu ích cho nhóm các quốc gia đang phát triển tham gia vào việc xây dựng và mở rộng nền kinh tế hydrogen toàn cầu. Xây dựng cơ sở vật chất và hạ tầng để kết nối mạng lưới vận chuyển hydrogen liên quốc gia là một chiến lược hiệu quả, không yêu cầu thay đổi toàn diện về khoa học kỹ thuật (<i>đường</i>

	<i>ống hydrogen được lắp đặt vào đường ống dẫn gas xuyên suốt các quốc gia), và tạo ra những giá trị kinh tế đủ để một quốc gia có thể xây dựng một kế hoạch hydrogen sâu rộng hơn cho mình.</i>
--	--

Vấn đề phát triển những chính sách hỗ trợ nền kinh tế hydrogen tuần hoàn: điểm lại các chính sách hỗ trợ phát triển công nghiệp hydrogen hiện hành ở VN được liệt kê trong bảng 3, ta thấy phần lớn giải pháp được nhắc đến và chưa có phương hướng triển khai rõ ràng. Thực trạng này tại Việt Nam là có thể lý giải được, thông qua sự bỡ ngỡ về khoa học công nghệ và bị động của các chuyên gia chính sách; bởi lẽ, ngành công nghiệp hydrogen là mới mẻ, và đang phát triển quá nhanh. So sánh với các giải pháp, chính sách về phát triển hydrogen tại một số quốc gia phát triển trên thế giới, chính sách hỗ trợ phát triển hydrogen tại Việt Nam chỉ đang được nhắc đến, xác định về sản lượng, và biểu hiện kỳ vọng của quốc gia.

Bảng 3. Tổng hợp các chính sách hỗ trợ phát triển hydrogen tại Việt Nam.

1	Nghị quyết 55/NQ/TW (02/11/2020).	<i>Tỷ lệ nguồn năng lượng tái tạo ở tổng nguồn cung cấp năng lượng sơ cấp sẽ đạt khoảng 15-20% vào năm 2030; 25 - 30% vào năm 2045.</i> <i>Phát triển nhiều dự án thí điểm để sản xuất và khuyến khích sử dụng năng lượng hydrogen trong dây chuyền với xu thế chung của thế giới.</i>
2	Quyết định 38/QĐ-TTg (30/12/2020).	<i>Các dự án ứng dụng hydrogen sẽ được hưởng hỗ trợ đầu tư theo quy định của pháp luật về đầu tư lĩnh vực công nghệ cao.</i> <i>Ưu tiên đầu tư phát triển năng lượng hydrogen, lưu trữ năng lượng cao mật độ và pin nhiên liệu.</i>

3	Quyết định 882/QĐ-TTg (22/7/2022).	• <i>Tạo hành lang pháp lý vững chắc hỗ trợ nghiên cứu vào công nghệ nhiên liệu xanh (hydrogen xanh, amoniac, nhiên liệu sinh học).</i> • <i>Thực hiện một số thử nghiệm sản xuất nhiên liệu xanh đề án.</i> • <i>Thu hồi, sử dụng và lưu trữ carbon (CCUS) đánh giá tiềm năng.</i>
4	Quyết định 888/QĐ-TTg (25/07/2022).	• <i>Phát triển năng lượng mới không phát thải các dự án như sản xuất xanh nhiên liệu hydrogen, amoniac xanh phục vụ phát triển kinh tế xã hội.</i>
5	Quyết định 896/QĐ-TTg (26/7/2022).	• <i>Từng bước sử dụng hydrogen thay thế than trong công nghiệp luyện kim, dịch vụ và các ngành thương mại.</i> • <i>Xây dựng và thực hiện lộ trình chuyển đổi sang nhiên liệu sạch cho phương tiện giao thông; tăng dần tỷ lệ xe điện và xe hydrogen.</i> • <i>Phát triển công nghiệp, sản xuất năng lượng sạch và lưu thông phương tiện sử dụng điện và hydrogen.</i>
6	Quyết định 893/QĐ -TTg (26/7/2023).	• <i>Sự phát triển của các dạng năng lượng tái tạo bao gồm nhiên liệu sinh học, hydrogen, amonia và nhiên liệu tổng hợp có nguồn gốc từ hydrogen.</i> • <i>Xây dựng lộ trình sản xuất và sử dụng hydrogen và nhiên liệu có nguồn gốc từ hydrogen.</i>
7	Quyết định 165/QĐ – TTg 2024	• <i>Định hình lộ trình và chiến lược phát triển năng lượng hydrogen tại Việt Nam.</i> • <i>Đề ra những nhiệm vụ và giải pháp thực hiện các kế hoạch phát triển ngành công nghiệp hydrogen tại Việt Nam.</i>

Để hiểu rõ hơn các chính sách hỗ trợ phát triển hydrogen tại các quốc gia phát triển trên thế giới, tác giả tổng hợp các thông tin liên quan trong bảng 4 với mục đích làm rõ chiến lược và các nhóm chính sách đáng lưu ý.

Cần lưu ý rằng, những chính sách của các nhóm quốc gia, khu vực được liệt kê trong bảng 4 được triển khai trên nền tảng khoa học công nghệ vượt trội và bề dày kinh nghiệm thực hiện đổi mới sáng tạo trong ngành công nghiệp năng lượng.

Bảng 4. Chiến lược và chính sách phát triển ngành công nghiệp hydrogen tại một số quốc gia nổi bật.

Khu vực	Chiến lược	Tổ chức thực hiện	Nội dung chiến lược và các chính sách liên quan
Châu Âu	Chiến lược Hydrogen cho một châu Âu trung hòa về khí hậu	Liên minh Hydrogen sạch Châu Âu	<i>Kế hoạch ba bước đến năm 2050 để biến Châu Âu thành hệ sinh thái hydrogen:</i> • Một triệu tấn hydrogen tái chế để khử cacbon cho các nhà máy công nghiệp và thương mại hóa quy mô lớn. • Mười triệu tấn sản xuất hydrogen tái tạo và hydrogen tạo thành cốt lõi của hệ thống năng lượng tích hợp. • Khử cacbon tất cả các mỏ bằng công nghệ hydrogen tái sinh.
Mỹ	Lộ trình tới nền kinh tế Hydrogen của Hoa Kỳ	Bộ Năng lượng (Chính phủ liên bang)	<i>Lộ trình được tổ chức thành bốn giai đoạn chính:</i> • Những bước đi trước mắt (2020–2022) • Mở rộng quy mô sớm (2023–2025) • Đa dạng hóa (2026–2030) • Triển khai rộng rãi (sau năm 2030) <i>Mỗi giai đoạn cũng mô tả các yếu tố hỗ trợ chính cần có, được phân loại thành:</i> • Yếu tố hỗ trợ chính sách • Yếu tố hỗ trợ cung cấp hydrogen

Nhật Bản	Chiến lược Hydrogen cơ bản	Chính phủ	- Việc mở rộng đáng kể việc sử dụng hydrogen từ hiện tại. - Triển khai chính thức việc sản xuất điện hydrogen và thiết lập hệ thống cung cấp hydrogen quy mô lớn (vào nửa cuối những năm 2020). - Thiết lập toàn bộ hệ thống cung cấp Hydrogen không có CO₂ (vào khoảng năm 2040).
Trung Quốc	Mục tiêu 3060	Chính phủ	- Kế hoạch phát triển trung và dài hạn năng lượng Hydrogen. - Sử dụng Hydrogen làm nguồn năng lượng cho quá trình khử cacbon và trung hòa cacbon. - Đầu tư vào công nghệ năng lượng Hydrogen như một dự án phát triển nghiên cứu quốc gia. - Đưa Hydrogen xanh làm hướng phát triển năng lượng Hydrogen. - Thiết lập tiêu chuẩn Hydrogen xanh đầu tiên trên thế giới
Hàn Quốc	Lộ trình phục hồi nền kinh tế Hydrogen	Chính phủ	- Lộ trình phát triển công nghệ Hydrogen. - Thiết lập luật đầu tiên trên thế giới về phát triển nền kinh tế Hydrogen và quản lý an toàn Hydrogen. - Lập kế hoạch cơ bản cho việc chuyển đổi sang nền kinh tế Hydrogen. - Kế hoạch đạt được mức độ trung hòa carbon năm 2050

Theo những thông tin được liệt kê trong bảng 4, các quốc gia tiên phong trong thiết lập nền kinh tế hydrogen đang xây dựng kế hoạch phát triển với lộ trình hướng tới việc tạo ra sản phẩm hydrogen sạch, ít phát thải carbon. Nhóm chính sách hỗ trợ cho kế hoạch kể trên được thiết lập dựa trên các yếu tố như: quản trị nguồn nguyên liệu sản xuất hydrogen, thúc đẩy quá trình ứng dụng sản phẩm hydrogen trong công nghiệp và giao thông vận tải, xây dựng dự án hướng tới xã hội trung hòa carbon sử dụng hydrogen như một hình thức năng lượng chủ đạo.



Như vậy, việc xây dựng chính sách phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn sẽ được cập nhật liên tục, và nên diễn ra trong khoảng thời gian ngắn hạn, phát triển trong từng giai đoạn ngắn và hướng tới một lộ trình phát triển có tính mềm dẻo. Có thể đối chiếu với lộ trình phát triển công nghiệp hydrogen của dự án H21 Leeds, Anh Quốc, tổng thời gian dự kiến phát triển chính sách hỗ trợ là 17 năm (2018-2034). Các chính sách trong nhóm dự án này liên quan chặt chẽ với chính sách cắt giảm phát thải carbon – dự kiến hoàn thiện vào năm 2030, và tiếp tục cập nhật cho tới 2034 [58].

Đối với Trung Quốc, nước này đề ra một lộ trình xây dựng chính sách từ những năm 2017, và đã hoàn thành vào đầu năm 2022 khi NDRC phát hành kế hoạch quốc gia về năng lượng hydrogen. Cụ thể, Trung Quốc tập trung vào phát triển R&D các công nghệ sản xuất hydrogen xám và xanh, họ tập trung vào việc đưa ra nhiều giải pháp về công nghệ trước, và xử lý tinh sạch sản phẩm sau. Có đến hơn 653 lượt đề xuất phát triển công nghệ sản xuất hydrogen năng suất cao, 300 lượt đối với nhóm công nghệ pin điện hóa, kỹ thuật điện hóa, và chỉ khoảng 50-60 lượt đối với nhóm làm sạch sản phẩm hydrogen xám trong các kỳ họp quy mô quốc gia về lĩnh vực năng lượng. Trung Quốc thể hiện quyết tâm trở thành quốc gia đi đầu trong ngành công nghiệp hydrogen, với lộ trình hướng tới 100 – 200 ngàn tấn hydrogen xanh/ năm (*tương đương với 3.3 – 6.7 TWh*) vào năm 2030, đưa vào hoạt động 50 ngàn xe FCEVs (*cả sản xuất nội địa, lẫn nhập khẩu*) vào năm 2035 (*hiện nay con số này rơi vào khoảng 15 ngàn phương tiện*). Các dự án phát triển hydrogen cũng được triển khai tập trung vào sản phẩm hydrogen sạch, hoàn thiện mạng lưới phân phối hydrogen bằng đường ống, tiếp tục phát triển hoạt động R&D đạt tiêu chuẩn quốc tế [59, 60].

Như đã trình bày ở các phần trên, chính sách phát triển công nghiệp hydrogen ở những quốc gia đang phát triển, trong đó có Việt Nam, có nhiều điểm khác biệt so với các quốc gia có tiềm lực mạnh mẽ như vừa đề cập. Những quốc gia thuộc khu vực Đông Nam Á là một ví dụ điển hình cho việc triển khai sản phẩm hydrogen lam và tập trung xây dựng hạ tầng cho việc vận chuyển hydrogen cần được ưu tiên. Thật khó để đề xuất một lộ trình phát triển cho các quốc gia thuộc nhóm này khi mà định hướng của các quốc gia liên quan có nhiều sự khác biệt, chưa tạo được sự kết nối cần thiết, và chưa tạo ra lộ trình rõ ràng như mong muốn.



Tuy nhiên, lộ trình phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn có thể được tóm tắt như sau:

Giai đoạn 2024-2030: giai đoạn tập trung mạnh vào các hoạt động phát triển nguồn nhân lực, và xây dựng chính sách hỗ trợ thương mại hóa sản phẩm hydrogen. Các chính sách kêu gọi đầu tư và tạo điều kiện để các tổ chức nước ngoài, các chuyên gia tiến hành các hoạt động đào tạo, nâng cao nhận thức về năng lượng hydrogen được xem là tiên quyết trong giai đoạn này. Trong các quyết định được triển khai gần đây tại Việt Nam không nhắc đến nhiệm vụ phát triển nguồn nhân lực cho ngành công nghiệp hydrogen một cách cụ thể, tuy nhiên, nhiệm vụ này được xem là tiên quyết và sẽ giữ vai trò quan trọng trong công cuộc xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn tại Việt Nam trong tương lai.

Giai đoạn 2030-2035: giai đoạn phát triển các chính sách quản lý nguồn nguyên liệu để sản xuất hydrogen lam và xem sản phẩm này là chủ đạo trong quá trình sản xuất nội địa. Mở rộng các chính sách hỗ trợ về vốn, cơ chế đối với nhóm dự án R&D trong lĩnh vực lưu trữ và phân phối hydrogen.

Giai đoạn này cũng đề xuất các chính sách hỗ trợ việc tiếp nhận các chuyển giao công nghệ trong sản xuất hydrogen; từ đó hoàn thiện dần các công trình đường ống vận chuyển hydrogen.

Giai đoạn 2035-2040: giai đoạn nội địa hóa các công nghệ sản xuất hydrogen, triển khai các chính sách hỗ trợ xây dựng mạng lưới năng lượng thông minh micro grid, các giải pháp điện khí hóa... Bên cạnh đó, việc đưa các phương tiện giao thông FCEVs vào hoạt động cũng góp phần thúc đẩy quá trình tiêu thụ hydrogen quốc gia, từ đó kêu gọi những chính sách hỗ trợ khác từ chính các hãng phương tiện liên quan. Ở giai đoạn này, việc ứng dụng hydrogen vào hoạt động công nghiệp phải đang diễn ra ở mức độ gần hoàn chỉnh, trong khi các chính sách quy định về phát thải carbon, tín chỉ carbon đã tạo ra những tác động nhất định.

Giai đoạn 2040-2045: giai đoạn hoàn thiện quá trình cắt giảm phát thải carbon với đầy đủ các chính sách hỗ trợ, quy định, chế tài liên quan. Nhóm ngành sản xuất hydrogen đã đạt được những thành quả nhất định sau khi chính sách kêu gọi nội địa hóa công nghệ được ban hành, trong khi hydrogen đã xuất hiện trong các quá trình sản xuất công nghiệp. Tại giai đoạn này, lộ trình hướng tới Net Zero



được xác nhận là khả thi trong giai đoạn 2050, hoặc cần kéo dài thêm thời gian để thực hiện.

Giai đoạn 2045-2050: giai đoạn đạt được bước đầu xã hội carbon trung tính Net Zero. Các chính sách hỗ trợ đã căn bản hoàn chỉnh, và bước vào giai đoạn duy trì Net Zero, hoặc ứng phó các vấn đề phát sinh của giai đoạn hậu Net Zero lần 1. Câu chuyện phát thải hydrogen đã bắt đầu được nhắc tới trong các nghiên cứu vào giai đoạn 2020-2022, nay có khả năng trở thành một vấn đề trong giai đoạn này. Như vậy, với những lộ trình, định hướng, và phân tích mối tương quan trong các yếu tố ảnh hưởng tới quá trình xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn được làm rõ, câu chuyện phát triển công nghiệp hydrogen tại Việt Nam và nhiều nơi trên thế giới đã có thể lựa chọn cho mình một hình hài sơ khai. Tuy nhiên, con đường đạt được xã hội hydrogen với mức độ phát thải bằng không, cùng một xã hội carbon trung tính không hề dễ đi.

CHƯƠNG III. NHỮNG THÁCH THỨC VÀ KHÓ KHĂN TRONG VIỆC XÂY DỰNG NỀN KINH TẾ HYDROGEN TUẦN HOÀN.

Như đã trình bày ở các phần trên, hydrogen đang được xem như một giải pháp khả thi có thể thay thế cho nhiên liệu hóa thạch và các nguồn năng lượng truyền thống. Tuy nhiên, việc thiết lập nền kinh tế hydrogen tuần hoàn và ngành công nghiệp hydrogen vẫn hàm chứa nhiều khó khăn, thách thức. Những thách thức này bao gồm nhiều khía cạnh trải dài từ các khó khăn về tài chính, công nghệ, xã hội, đến các vấn đề liên quan đến chính trị. Trong nội dung này của nghiên cứu, những khó khăn kể trên được xác định, phân tích, và từ đó đề xuất những giải pháp xử lý được xem là hữu hiệu, khả thi nhất. Những khó khăn trong thiết lập nền kinh tế hydrogen tuần hoàn được phân tích trên ba yếu tố chủ đạo của chuỗi giá trị sản phẩm hydrogen: quá trình sản xuất hydrogen (*hydrogen production*), quá trình lưu trữ và phân phối hydrogen (*hydrogen storage and distribution*), quá trình tiêu thụ hydrogen (*end-user*).

3.1. Quá trình sản xuất hydrogen

3.1.1. Vấn đề về quy trình công nghệ

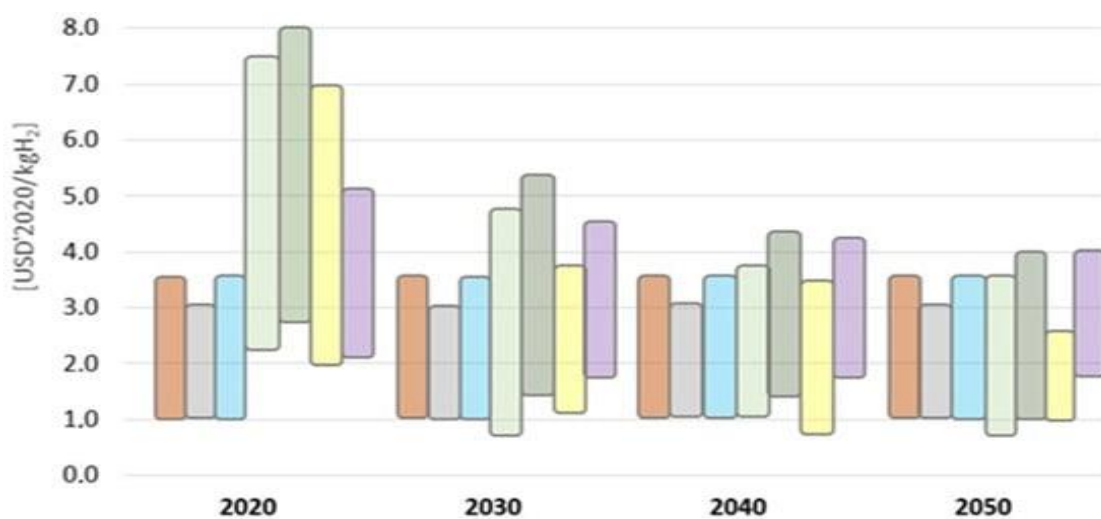
Hydrogen là một trong những nguyên tố dồi dào trong tự nhiên, nhưng không tồn tại đơn lẻ mà thường là hỗn hợp khí hoặc là phân tử kết hợp từ các nguyên tử



khác điều đó khiến cho việc khai thác hydrogen trong tự nhiên gặp nhiều khó khăn. Điều này làm cho chi phí khai thác loại sản phẩm hydrogen này trở nên rất tốn kém, và phải sử dụng các quy trình hao tổn năng lượng, phát thải, gây ra ô nhiễm. Trong nền kinh tế tuyến tính truyền thống, sản phẩm hydrogen đen và nâu được tạo ra thông qua quá trình khí hóa than, trong khi hydrogen xám được tạo ra từ khí tự nhiên hoặc metan. Cả hai phương pháp này chiếm khoảng 95% lượng hydrogen được sản xuất trên thế giới, và đồng thời chịu trách nhiệm cho mức độ phát thải nghiêm trọng xuyên suốt quá trình sản xuất, xúc tiến cho quá trình biến đổi khí hậu [61].

Theo thông tin hiển thị trong sơ đồ hình 3.1, chi phí sản xuất hydrogen xám từ khí metan dao động trong khoảng 1 - 3 USD/kg với tỷ lệ phát thải CO₂ trên sản lượng sản xuất hydrogen có thể đạt tới ngưỡng tới 9:1 [62]. Chi phí sản xuất hydrogen nâu và hydrogen lam với mức chi phí tương đương nhau, dao động từ 1 đến 3.5 USD/kg hydrogen (chi phí sản xuất hydrogen lam sẽ trội hơn hai hình thức sản phẩm nâu và xám vì lý do liên quan đến việc áp dụng kỹ thuật CCUS).

Hydrogen xanh được tạo ra thông qua quy trình như điện hóa phân tách nước, nguồn năng lượng cung cấp cho quy trình này đến từ năng lượng tái tạo (*điện gió, điện mặt trời, thủy điện nhỏ...*), trong khi nguồn cung cấp hydro đến từ nhiều nguồn nước (*nước biển, nước sông hồ, nước mưa, nước thải công nghiệp...*). Hydrogen xanh được xem như hình thức đỉnh cấp của các sản phẩm hydrogen, phù hợp với nền kinh tế hydrogen tuần hoàn và phù hợp với xu thế hiện nay. Rào cản để sản xuất hydrogen xanh là chi phí lưu trữ và nguồn năng lượng tái tạo cấp điện cho quá trình điện phân [63].



Hình 3.1. So sánh chi phí sản xuất hydrogen. ■, hydrogen nâu (khí hóa than); ■, hydrogen xám (từ nguồn metan); ■, hydrogen lam (reforming metan + CCS/CCU); ■, hydrogen xanh (điện phân + gió PP trên bờ); ■, hydrogen xanh (máy điện phân + PP gió ngoài khơi); ■, hydrogen xanh (điện phân + PV); ■, hydrogen sinh học (HyBECCS).
(Nguồn: nghiên cứu của Igor Tatarewicz et al., 2023)

Tuy nhiên, hạn chế của việc công nghiệp hóa quy trình sản xuất hydrogen xanh chính là việc chi phí sản xuất của nó vẫn cao, công nghệ vẫn đang phát triển, trong khi những chính sách hỗ trợ vẫn chưa hoàn thiện. Hiện nay, chi phí sản xuất hydrogen xanh đắt ít nhất là gấp đôi so với chi phí sản xuất hydrogen xám, dao động từ 2.2 USD/kg đến 8 USD/kg [64]. Chi phí sản xuất này có thể được giải thích thông qua các khoản đầu tư vào máy điện phân nước, thời gian vận hành mỗi năm và chi phí năng lượng tái tạo được sử dụng để cung cấp năng lượng cho máy điện phân. Hiện nay, chi phí điện từ năng lượng tái tạo đã giảm 60–88% kể từ năm 2010 đến nay, cụ thể, đã giảm xuống còn 24 – 96 USD/MWh đối với năng lượng mặt trời và 24 – 75 USD/MWh đối với năng lượng gió[65].

3.1.2. Vấn đề về quản lý nguồn rác thải

Như đã trình bày ở các phần trên, quá trình quản lý nguồn tài nguyên rác thải là một trong các cột trụ chính, là vấn đề chủ đạo của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn. Các sản phẩm hydrogen phù hợp có thể được tạo ra thông qua các quy trình sản xuất nhất định, trong đó những nguồn nguyên liệu như: sinh khối biomass, rác thải một số ngành công nghiệp, nước thải công nghiệp, nước mưa, hoặc nước



biên... giữ vai trò chủ chốt. Như vậy, vấn đề quản lý nguồn rác thải giữ vai trò cung cấp nguyên liệu và tương đương với quá trình kiểm soát, quản lý nguyên liệu đầu vào trong các ngành công nghiệp khác.

Theo Koh và Raghu, mỗi năm thế giới thải ra khoảng 2.01 Gt rác hỗn hợp, lượng rác thải này được xử lý thông qua các phương pháp như chôn lấp, đốt... và gây ra nhiều ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường [66]. Trong năm 2020, chỉ có khoảng 8.6% lượng rác thải từ nguồn nhiên liệu hóa thạch, phế phẩm nông nghiệp, khoáng sản... được tái chế và thu hồi cho mục đích tái sử dụng đúng cách [67]. Trên khía cạnh quản lý nguồn rác thải theo nền tảng kinh tế tuần hoàn, những phương pháp nhiệt (*nhiet phân, khí hóa*) là giải pháp đáng mong chờ để chuyển hóa lượng rác thải đô thị rắn (*municipal solid waste - MSW*) [68].

Quá trình chuyển hóa từ rác thải-đến-hydrogen phụ thuộc nhiều vào công nghệ khí hóa các chất rắn, với hiệu suất mong chờ rơi vào khoảng 40-50% đối với đối tượng rác thải rắn đô thị, dĩ nhiên giải pháp này được thực hiện cùng với các quy trình lưu trữ và thu giữ carbon [69]. Tuy nhiên, các quy trình công nghệ vẫn phải được cải tạo và nâng cấp đối với các trang thiết bị, kỹ thuật vận hành... điều này làm phát sinh các chi phí triển khai giải pháp. Bên cạnh đó, việc phải được thực hiện kèm với các quy trình xử lý phát thải carbon cũng đẩy cao chi phí cho nhóm giải pháp này. Cuối cùng, các nhà hoạch định chính sách cũng phải bắt tay vào cuộc với những chính sách quản lý rác thải, đặc biệt là nhóm phế phẩm nông nghiệp và sinh khối; từ đó, nhóm giải pháp chuyển hóa rác thải thành hydrogen sở hữu nền tảng vững chắc cho quá trình chọn lựa nguyên liệu đầu vào.

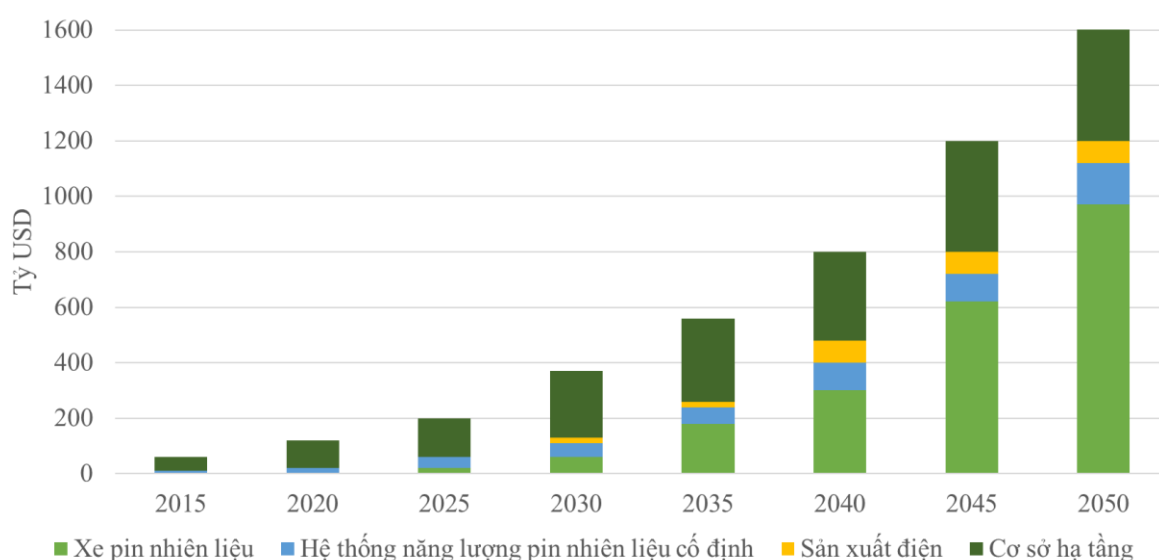
Vấn đề chuẩn bị nguồn năng lượng phục vụ cho quá trình sản xuất hydrogen tại Việt Nam được nhắc đến trong quyết định 893 và được tổng hợp, trình bày trong phụ lục 2. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng những nội dung này vẫn sẽ được bổ sung, cập nhật liên tục nhằm bảo đảm tính phù hợp và theo kịp nhu cầu của ngành công nghiệp hydrogen vốn hàm chứa nhiều sự thay đổi.

3.2. Quá trình lưu trữ hydrogen

3.2.1. Vấn đề đầu tư và duy trì cơ sở hạ tầng

Trong điều kiện hiện tại, những đầu tư về cơ sở hạ tầng trong ngành công nghiệp hydrogen vẫn còn khiêm tốn hoặc đang trong giai đoạn phát triển. Cơ sở hạ tầng trong lưu trữ và vận chuyển các sản phẩm hydrogen giữ một vai trò quan trọng

trong chuỗi cung ứng sản phẩm này. Theo đó, các hạ tầng trong ngành công nghiệp hydrogen vẫn chưa đảm bảo khả năng ứng dụng pin điện hóa Fuel Cell một cách phi tập trung (*điều này tạo cơ sở xây dựng mạng lưới phân phối hydrogen linh hoạt và ít phụ thuộc vào điều kiện cơ sở hạ tầng của từng khu vực sản xuất*). Những tiềm năng và nhu cầu sử dụng cơ sở hạ tầng cho ngành công nghiệp hydrogen được tóm gọn trong biểu đồ thuộc hình 3.2. Theo đó, có thể nhìn thấy rằng các hạ tầng vận chuyển hydrogen chủ yếu tập trung vào nhóm thiết lập mạng lưới đường ống phân phối sản phẩm này. Nhiều quốc gia đã thử nghiệm việc hòa chung đường ống hydrogen với đường ống dẫn khí đốt quốc gia và thu được nhiều kết quả khả quan [70].



Hình 3.2 Tiềm năng cơ sở hạ tầng cho nền kinh tế hydrogen. (Nguồn: viện năng lượng – Bộ Công Thương)

Tuy nhiên, trong trường hợp phải thiết lập các trạm bơm hydrogen không ở gần khu vực mạng lưới đường ống, các giải pháp như sử dụng xe tải và các phương tiện vận chuyển gần như là yêu cầu bắt buộc [71].

Như vậy, giải pháp xây dựng mạng lưới phân phối hydrogen là khả quan, và được xem là câu trả lời cho vấn đề thu hẹp khoảng cách giữa các khu vực tiêu thụ hydrogen. Khi triển khai các trạm tiếp nhiên liệu hydrogen một cách hợp lý sẽ cung cấp hydrogen an toàn và chi phí thấp, đồng thời sẽ thúc đẩy quá trình thương mại hóa hydrogen nhanh hơn. Tuy nhiên, yêu cầu về kỹ thuật lưu trữ hydrogen



nhằm thỏa điều kiện vận chuyển an toàn sản phẩm này là rất khắt khe và vẫn chưa hoàn toàn trưởng thành. Điều này chủ yếu là do những vấn đề liên quan đến an toàn lao động, hiệu suất bảo lưu hydrogen chưa như mong muốn, chi phí đầu tư cao [72].

3.2.2. Vấn đề chuyển đổi hydrogen (nén và hóa lỏng)

Hydrogen được nén, hóa lỏng hoặc chuyển đổi thành amoniac (NH_3) sau khi được tạo ra để vận chuyển đến nơi tiêu thụ hoặc được lưu trữ (*giá thành của hydrogen cho nơi tiêu thụ sẽ tăng lên do quá trình này*). Sau khi tính đến các chi phí đầu tư và lượng năng lượng tiêu thụ, thì chi phí dự kiến cho việc nén khí hydrogen sẽ rơi vào khoảng 1 đến 1,5 USD/kg [73]. Với quá trình hóa lỏng hydrogen, chi phí này rơi vào khoảng 2 đến 3 USD/kg [74]. Trên tinh thần đó, giá chuyển hóa hydrogen thành amoniac cho mục đích lưu trữ được dự đoán sẽ rơi vào khoảng 0,4 đến 0,9 USD/kg [75]. Giải pháp lưu trữ hydrogen bằng phương pháp chuyển hóa thành ammonia hoặc hydrogencarbon nhận được nhiều sự quan tâm và được coi là một giải pháp đầy hứa hẹn. Việc chuyển hóa kể trên tạo ra lợi thế trong khâu vận chuyển hydrogen nhờ vào các đặc tính hóa lý của sản phẩm này, không những vậy, điều này còn hạn chế khả năng thất thoát trong quá trình lưu trữ so với các phương pháp khác.

3.2.3. Vấn đề chi phí lưu trữ hydrogen

Hydrogen chủ yếu được lưu trữ bằng ba phương pháp chính: nén, hóa lỏng hoặc lưu trữ trên vật liệu. Hydrogen có thể được lưu trữ tại các nhà máy sản xuất hoặc được lưu trữ với số lượng lớn trong các khu bảo tồn thiên nhiên như các mỏ muối đã ngừng hoạt động.

Lưu trữ hydrogen bằng kỹ thuật khí nén (compressed technology): Với phương pháp nén khí, việc lưu trữ hydrogen nén đắt gấp 1,5 lần so với lưu trữ khí metan CH_4 . Lưu trữ hydrogen ở trạng thái khí được coi là đơn giản và ít tốn kém so với các phương pháp khác.

Các chi phí kể trên thay đổi tùy theo nhu cầu sử dụng để lưu trữ (*xi lanh hoặc ống*) và thời gian cần thiết để lưu trữ (*1 ngày hoặc 30 ngày*), hydrogen có thể được lưu trữ với chi phí từ 0,21 đến 0,6 USD/kg trong xi lanh và hơn 4,25 USD/kg trong ống (cho 1 ngày). Chi phí lưu trữ này sẽ rơi vào khoảng 1 đến 5 USD/kg

trong xi lanh và hơn 7 USD/kg trong ống (cho 30 ngày) [76, 77]. Bảng 5 trình bày các chi phí lưu trữ hydrogen bằng phương pháp nén khí được trình bày bên dưới. Theo đó, Các chi phí đối với vận hành và bảo trì đường ống dẫn dao động từ 0,1 đến 0,5 USD/kg và các chi phí khấu hao sẽ từ 0,1 đến 0,2 USD).

Bảng 5. Chi phí lưu trữ hydrogen khí nén trong hai khoảng thời gian 1 và 30 ngày

Thời gian	Cách thức lưu trữ	Chi phí (USD/kg)	Chi phí vận hành và bảo trì	Chi phí khác
1 ngày	Xi lanh	0.21 – 0.6	0.1 – 0.5	0.1 – 0.2
	Ống	> 4.25	0.1 – 1	0.1 – 0.3
30 ngày	Xi lanh	0.1 – 1	0.1 – 0.5	0.1 – 0.2
	Ống	> 7	0.1 – 1	– 0.3

Phương pháp lưu trữ hydrogen hóa lỏng: hydrogen có thể được lưu trữ bằng cách hóa lỏng rồi vận chuyển nhằm tiết kiệm không gian và diện tích lưu trữ, tuy nhiên, trên thực tế việc triển khai hóa lỏng hydrogen không hoàn toàn là lý tưởng; độ hóa lỏng của hydrogen rất thấp (dưới $-252,87^{\circ}\text{C}$) khiến việc duy trì nhiệt độ trong quá trình bảo quản phát sinh nhiều chi phí và hao tốn nhiều năng lượng. Theo cơ quan năng lượng tái tạo quốc tế (IRENA) [78], quá trình sản xuất hydrogen nén cần từ 1 đến tối đa 7kWh cho mỗi kg sản phẩm, trong khi quá trình hóa lỏng cần ít nhất 12kWh cho mỗi kg hydrogen. Thực tiễn này chỉ ra rằng, phương pháp lưu trữ hydrogen hóa lỏng vẫn còn nhiều khuyết điểm.

Phương pháp lưu trữ hydrogen dựa trên vật liệu: hydrogen có thể được lưu trữ một cách hiệu quả trên chất rắn, điển hình có thể kể đến vật liệu hydrua kim loại, vật liệu hóa học và vật liệu hấp thụ. Theo báo cáo của Bộ Năng lượng Hoa Kỳ, chi phí để lưu trữ hydrogen thông qua vật liệu rắn có thể dao động khoảng 15 USD/kg đối với vật liệu hấp thụ, 17 USD/kg đối với vật liệu hóa học và thậm chí lên tới 43 USD/kg đối với vật liệu hydrua kim loại [79].

Phương pháp lưu trữ này sở hữu mật độ lưu trữ cao, ổn định, và được xem là một giải pháp đầy tiềm năng trong lưu trữ hydrogen. Hiện nay, phương pháp lưu trữ



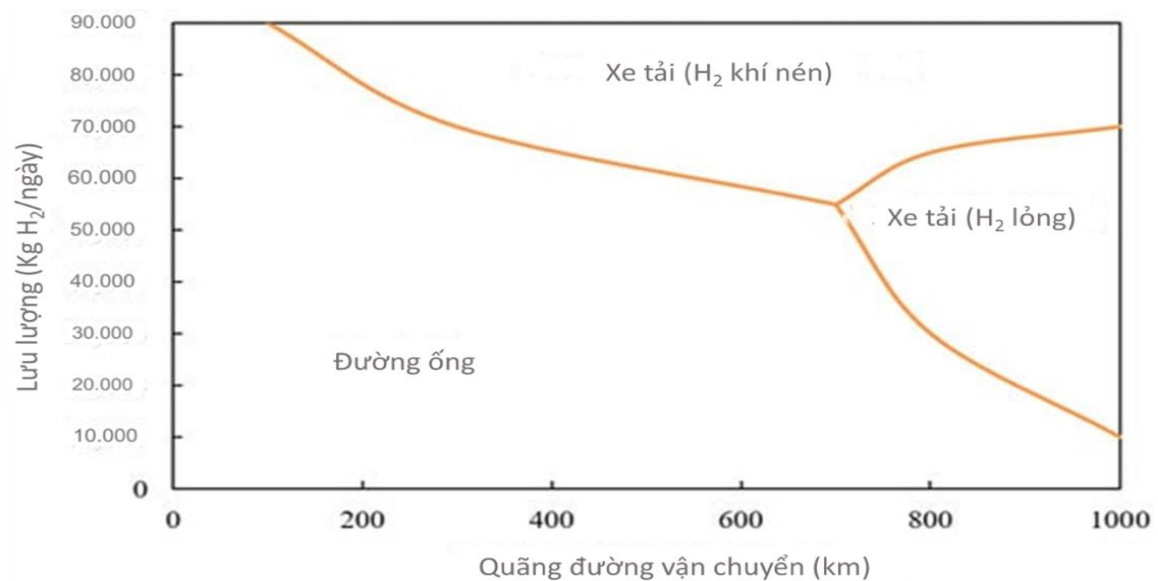
hydrogen dựa trên vật liệu vẫn còn đang trong giai đoạn nghiên cứu và phát triển, điều này dẫn đến chi phí để đầu tư cao và hiệu suất lưu trữ chưa được như mong đợi. Tuy được đánh giá là một giải pháp vượt trội về mặt công nghệ, nhưng lưu trữ hydrogen trên vật liệu rắn vẫn là một giải pháp dành cho tương lai vốn sẽ đòi hỏi những nỗ lực trong đầu tư và phát triển.

Phương pháp lưu trữ dưới lòng đất: các hang muối cạn kiệt đã được ngành hóa chất của Vương quốc Anh và Hoa Kỳ sử dụng để lưu trữ hydro từ những năm 1970. Các hang muối thường được vận hành đồng bộ và có nhiều khoang riêng biệt nối tiếp nhau, điều này tạo thuận lợi cho việc làm các không gian lưu trữ hydrogen [80]. Bên cạnh sự tiện lợi đó là do những hang muối này vẫn hàm chứa những bất cập nhất định, điển hình như: chưa đảm bảo độ an toàn để lưu trữ, phụ thuộc vào điều kiện địa lý, quá trình quản lý phụ thuộc nhiều vào các biến đổi của tự nhiên. Hơn thế nữa, mục đích ban đầu của các hang muối vốn không phải để lưu trữ hydrogen nên về mặt tiêu chuẩn kỹ thuật vẫn chưa được đảm bảo. Một giải pháp tương tự có thể kể đến chính là tận dụng các bể chứa dầu, khí đốt đã cạn kiệt. Các bể chứa dầu và khí đốt cạn kiệt thường lớn hơn các hang muối. Tuy nhiên, chúng cũng có xu hướng dễ thấm hơn và chứa các chất ô nhiễm cần phải được loại bỏ trước khi lưu trữ hydrogen. Mặc dù có ưu thế về giảm thiểu tối đa các chi phí lưu trữ, nhưng giải pháp này tiềm ẩn nguy cơ vi sinh vật, chất lỏng hoặc các khoáng chất còn sót lại có thể phản ứng với lượng hydrogen được lưu trữ, gây thất thoát và ô nhiễm các sản phẩm hydrogen.

3.3. Về vận chuyển hydrogen

Trong nền kinh tế hydrogen tuần hoàn, vận chuyển hydrogen đến các nhà máy công nghiệp hoặc nơi tiêu thụ sau khi chuyển đổi cũng góp phần làm tăng giá thành của hydrogen. Tương tự như các hoạt động vận chuyển sản phẩm khác, số lượng hydrogen được cung cấp và quãng đường di chuyển đến người tiêu dùng sẽ quyết định chi phí vận chuyển sản phẩm. Không những như thế, quá trình này còn tạo ra ảnh hưởng đến cả chi phí vốn của phương tiện vận tải (*đường ống hoặc vận tải bằng đường bộ*) và chi phí vận hành (*chi phí điện để bơm hydrogen hoặc nhiên liệu xe tải*). Hình 3.3 trình bày các giải pháp về cách chọn phương án vận chuyển hydrogen đạt hiệu suất cao và ít ảnh hưởng đến chi phí nhất trên quãng đường di chuyển nhỏ và dài, tùy thuộc vào lượng vận chuyển. Theo đó, việc vận chuyển hydrogen có những đặc điểm sau đây:

- Vận chuyển khí nén hoặc hydrogen lỏng bằng xe tải/tàu thủy và khí hydrogen nén bằng đường ống đến các thị trường tiêu dùng là các phương án vận chuyển chính được sử dụng trong thương mại.
- Mạng lưới đường ống là lựa chọn tốt nhất để phân phối hydrogen đến các nguồn tiêu thụ ở quy mô lớn, tuy nhiên, điều này sẽ đòi hỏi một khoản đầu tư ban đầu đáng kể (Chi phí xây dựng đường ống, mạng lưới đường ống).



Hình 3.3. Khuyến khích lựa chọn phương pháp vận chuyển Hydrogen hiệu quả về mặt kinh tế, tùy thuộc vào khoảng cách và mức tiêu thụ (nguồn: nghiên cứu của Vladimir Kindra et al., 2023).

Một đường ống dẫn hydrogen có thể yêu cầu chi phí đắt hơn 10% – 50% so với đường ống khí đốt tự nhiên [81]. Trong khi đó, có một sự thật rất thú vị rằng: có thể chuyển đổi các ống dẫn khí tự nhiên sang dẫn khí hydrogen với chi phí từ 10% – 25% [82]. Trên toàn thế giới đã có hơn 4500 km đường ống hydrogen, thế nên việc kết nối hydrogen vào mạng lưới đường ống khí đốt tự nhiên được xem như là giải pháp phân phối và vận chuyển phù hợp với loại sản phẩm này. Điều này tạo ra sự linh hoạt, cung cấp thêm giải pháp, và cho phép thị trường tiêu thụ hydrogen được vận hành với nhiều lựa chọn hơn.

Tuy nhiên, những khó khăn trong quá trình vận chuyển hydrogen luôn là bài toán không đơn giản, và có thể được liệt kê bên dưới như sau:

- Việc lựa chọn sản phẩm đường ống, thiết kế đường ống mang tính đặc thù (*do hydrogen có thể ăn mòn bề mặt trong của các ống dẫn*). Theo đó, đường ống vận chuyển hydrogen thường được sử dụng nhôm, đồng thau, thép có hàm lượng carbon thấp và tiềm năng nhất là polyme gia cố bằng sợi (FRP) để phân phối và vận hydrogen [83].
- Đặc thù quá trình phân phối và vận chuyển hydrogen ở dạng lỏng sẽ dễ dàng và an toàn hơn so với hình thái khí nén. Tuy nhiên, chi phí lưu trữ hydrogen ở dạng lỏng lại cao hơn so với hình thái khí nén, như đã trình bày ở trên. Về mặt giải pháp, có thể xem quá trình vận chuyển hydrogen ở trạng thái lỏng là có lợi hơn khi có thể được vận chuyển với số lượng lớn hơn trên mỗi đơn vị phương tiện vận chuyển [84].
- Hóa lỏng Hydrogen là một quá trình tiêu tốn nhiều năng lượng và rất tốn kém, nhưng chi phí vận chuyển Hydrogen lỏng gần bằng chi phí vận chuyển qua đường ống. Một đặc điểm khác là Hydrogen được hóa lỏng ở nhiệt độ $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, và cần có các thùng đông lạnh đặc biệt để lưu trữ nó nhằm giảm thiểu thất thoát hydrogen. Để đạt được mục đích này, cần có những nghiên cứu công nghệ tiên tiến về vật liệu các thùng nhôm và thùng chứa bằng vật liệu tổng hợp để chứa hydrogen.
- Vận tải đường sắt để vận chuyển hydrogen lỏng có ứng dụng khá hạn chế do mạng lưới đường sắt không linh hoạt, mật độ và chất lượng đường sắt là không đồng đều tại mỗi quốc gia, khu vực trên thế giới. Trong các thùng chứa đường sắt đông lạnh, sự thất thoát hydrogen cũng tương tự như trong trường hợp xe bồn. Với một lần làm lạnh trong xe bồn, có tới 15% lượng hydrogen bị thất thoát, và trong khi tổn thất do cách nhiệt kém là 0,5% lượng hydrogen được vận chuyển mỗi ngày.

3.4. Quá trình tiêu thụ hydrogen

3.4.1. Vấn đề an toàn lao động và các yếu tố liên quan đến môi trường

Trên khía cạnh môi trường, mấu chốt của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn nằm ở khâu thượng tầng – các quy trình sản xuất hydrogen. Những công nghệ sản xuất hydrogen thừa hưởng từ nền kinh tế tuyến tính trước đó tạo ra những sản phẩm



hydrogen nâu, xám, đen... và cùng với đó là những tác động tiêu cực với môi trường. Việc phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn sẽ phụ thuộc vào hai nội dung chủ chốt về công nghệ:

- Công nghệ sản xuất hydrogen sạch, không phát thải: sử dụng nguồn nhiên liệu sạch, và nguồn năng lượng tái tạo để vận hành sản xuất. Quá trình sản xuất hydrogen không phát thải hoặc được xử lý phát thải bằng các giải pháp phù hợp.
- Các giải pháp quản lý, sử dụng nguồn tài nguyên rác phù hợp với các quy trình sản xuất hydrogen: rác thải, nước thải, nước biển, nước mưa, hoặc nước ao hồ đều có thể là nguồn phát sinh hydrogen lý tưởng nếu được sử dụng vào đúng quy trình công nghệ.

Một trở ngại lớn khác đối với nền kinh tế hydrogen là những lo ngại về an toàn lao động trong quá trình vận hành quy trình. Hydrogen có mật độ năng lượng cao và phạm vi cháy nổ rộng, dao động từ 4% đến 75% theo thể tích trong không khí và có thể lên tới 95% trong trường hợp có sự tham gia của oxygen ở điều kiện khí quyển [85]. Hydrogen không mùi và gần như vô hình nên việc phát hiện ra sự rò rỉ của sản phẩm này trong các quá trình công nghiệp là khó khăn, và như vậy đã đặt ra những thách thức về tính an toàn trong quá trình sản xuất, vận chuyển, lưu trữ và tiêu thụ hydrogen [86].

3.4.2. Vấn đề tiêu chuẩn kỹ thuật và qui định quốc tế

Việc thiếu các tiêu chuẩn và quy định quốc tế liên quan đến hydrogen hiện là trở ngại lớn ảnh hưởng đến sự phát triển của thị trường hydrogen toàn cầu, điều này khiến cho các quốc gia phải xây dựng các tiêu chuẩn và quy định của riêng mình. Theo đó, sự phổ biến một nền kinh tế hydrogen rộng khắp gặp rất nhiều khó khăn trong vấn đề đồng thuận, chính sách, và các nội dung khả thi để hợp tác liên quốc gia. Vì vậy, việc xây dựng một khuôn khổ quốc tế chung là cần thiết nhằm hạn chế cạnh tranh không lành mạnh trong quá trình phát triển ngành công nghiệp hydrogen [87].

Một số cạnh tranh không lành mạnh bao gồm sự mơ hồ trong các định nghĩa về hydrogen sạch, ví dụ: một quốc gia/tập đoàn có thể định nghĩa hydrogen sạch là hydrogen được sản xuất theo tỷ lệ 1:2 H₂/CO₂. Tuy nhiên, một số quốc gia/tập đoàn khác có thể coi hydrogen xanh không chứa carbon là hydrogen sạch, khiến

các quốc gia/tập đoàn này khó cạnh tranh hơn vì chi phí cao trong sản xuất hydrogen xanh theo tiêu chuẩn này.

Tương tự, những định nghĩa về độ tinh khiết của hydrogen cũng được các tập đoàn có thể hiện rất khác nhau và tùy thuộc vào loại công nghệ họ sử dụng để sản xuất hydrogen cũng như chi phí đầu tư ban đầu. Bảng 6 liệt kê các tiêu chuẩn trong phương pháp sản xuất hydrogen sạch.

Bảng 6. Tiêu chuẩn phương pháp sản xuất hydrogen sạch ở một số quốc gia

Quốc gia	Tiêu chuẩn phương pháp sản xuất hydrogen sạch	Trạng thái	Nguồn
Úc	Sản xuất hydrogen sạch là từ ba phương pháp: điện phân, khí hóa than + CCS và cải cách khí metan + CCS.	Trong giai đoạn phát triển	[88]
Cộng hòa Séc	Sản xuất hydrogen sạch, phát thải lượng carbon dưới 36.4 g CO ₂ /MJ	Trong giai đoạn phát triển	[89]
Pháp	Sản xuất hydrogen sạch từ tất cả các nguồn nguyên liệu tái tạo (100% có thể tái tạo)	Đang hoạt động	[90]
Đức	Sản xuất hydrogen sạch từ điện phân (100% điện từ năng lượng tái tạo) và sinh khối	Đang hoạt động	[91]

Việc đề ra các quy chuẩn, quy định rõ ràng sẽ tạo ra tiền đề to lớn trong quá trình xác định sản phẩm hydrogen thông qua các đặc trưng riêng biệt. Theo đó, các quá trình xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn được hưởng lợi từ việc được sử dụng những thông tin rõ ràng, quy chuẩn phù hợp với các sản phẩm hydrogen mong đợi. Như vậy, để hydrogen trở nên phổ biến và được ứng dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp hiện nay, việc phát triển và thực hiện các quy định, tiêu chuẩn quốc tế nhằm giải quyết vấn đề an toàn trong xây dựng, bảo trì, vận hành là điều tiên quyết [92].

CHƯƠNG IV. TÓM LƯỢC VỀ NỀN KINH TẾ HYDROGEN TUẦN HOÀN HƯỚNG TỚI MỤC TIÊU XÃ HỘI CARBON TRUNG TÍNH

Trong những năm gần đây, hydrogen nổi lên như một ngôi sao trong lĩnh vực năng lượng mới và thu hút được rất nhiều sự chú ý. Việc phát triển năng lượng hydrogen trở nên cấp thiết, được phát triển mạnh mẽ và liên tục cập nhật những công nghệ, sản phẩm mới. Đối với các quốc gia phát triển, với sức mạnh kinh tế và khoa học kỹ thuật vượt trội đã tạo nên nền tảng vững chắc trong việc phát triển nền công nghiệp hydrogen vẫn đang rất non trẻ. Trong khi đó, những quốc gia đang phát triển cũng ôm mong muốn tham gia vào nền kinh tế hydrogen đầy mới mẻ và giàu tiềm năng, tuy nhiên, hạn chế về khoa học kỹ thuật và đầu tư gây ra không ít khó khăn cho câu chuyện này. Có rất nhiều quốc gia đang phát triển sở hữu nhiều lợi thế trong việc phát triển ngành công nghiệp hydrogen, trong đó có Việt Nam và những quốc gia Đông Nam Á lân cận. Việc tận dụng những lợi thế về địa lý để phát triển công nghiệp sản xuất hydrogen hứa hẹn đưa những quốc gia Đông Nam Á vào kỷ nguyên năng lượng mới, với xã hội carbon trung tính và rất nhiều cơ hội thu hút đầu tư, hỗ trợ từ các quốc gia phát triển. Trên tinh thần đó, nghiên cứu này vẽ ra bức tranh tổng thể mô tả phương thức và gợi ý lộ trình phát triển nền kinh tế hydrogen tuần hoàn – nơi mà những quốc gia phát triển có cơ hội để đầu tư và hỗ trợ những bằng hữu của mình, còn các quốc gia đang phát triển có cơ hội chuyển mình bước vào thời đại mới một cách an toàn và hiệu quả.

Nghiên cứu này kết hợp hai khái niệm rất thú vị: xây dựng nền kinh tế hydrogen và phát triển kinh tế tuần hoàn nhằm tạo ra một giải pháp xây dựng kỷ nguyên hydrogen hiệu quả, công bằng, và đầy hứa hẹn. Trên khía cạnh xây dựng mô hình phát triển, những sản phẩm của nền kinh tế hydrogen tuần hoàn được hình thành dựa trên sự phối hợp của những giải pháp khoa học công nghệ vượt trội, các chính sách hỗ trợ khéo léo, và quá trình điều phối nguồn rác thải đóng vai trò là nguyên liệu đầu vào cho các công nghệ sản xuất hydrogen. Theo đó, sản phẩm hydrogen được tạo ra trong nền kinh tế tuần hoàn được xem là sạch, an toàn, ít phát thải, và có thể được ứng dụng, phối hợp một cách linh hoạt với nhiều ngành công nghiệp khác, hoặc các quy trình sản xuất khác. Những kỹ thuật hiện đại như pin nhiên liệu (fuel cell), các kỹ thuật thu giữ và lưu trữ carbon (CCS/CCUS) được áp dụng vào quá trình sản xuất hydrogen để tạo ra các sản phẩm phù hợp với tiêu chí mà nền kinh tế hydrogen tuần hoàn đề ra.



Việc xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn là cấp thiết và phù hợp với nhu cầu phát triển ngành công nghiệp hydrogen tại rất nhiều quốc gia trên thế giới: từ các quốc gia phát triển giàu tiềm lực, cho đến các quốc gia đang phát triển đầy quyết tâm. Tuy nhiên, nền kinh tế hydrogen tuần hoàn không thể được thiết lập chỉ dựa vào việc phát triển các công nghệ sản xuất hydrogen và các sản phẩm của nó; quá trình thiết lập nền kinh tế hydrogen tuần hoàn phải bao gồm các vấn đề sau:

- *Phát triển công nghệ sản xuất hydrogen hướng tới sản phẩm hydrogen sạch*: các quy trình sản xuất sử dụng nguồn nhiên liệu từ năng lượng tái tạo, quá trình sản xuất ít phát thải, các kỹ thuật xử lý phát thải CCS/CCUS được thực hiện xuyên suốt, nguyên liệu đầu vào là phế phẩm, rác thải từ các ngành sản xuất khác hoặc đến từ nguồn tự nhiên (nước mưa, nước biển, ao hồ...).
- *Phát triển công nghệ lưu trữ và phân phối, vận chuyển hydrogen*: những giải pháp lưu trữ hydrogen bằng kỹ thuật nén hoặc hóa lỏng được xem là khả thi và dễ triển khai nhất, tuy nhiên, những kỹ thuật lưu trữ trên vật liệu cũng được xem là rất hứa hẹn, dù cho nhóm này vẫn đang trong giai đoạn phát triển. Quá trình vận chuyển và phân phối hydrogen được khuyến nghị sử dụng giải pháp mạng lưới ống dẫn hydrogen, những ống dẫn hydrogen được triển khai vào hệ thống dẫn khí gas của các khu vực tiêu thụ, hoặc đường ống dẫn quốc gia.
- *Phát triển công nghệ tiêu thụ hydrogen và đẩy mạnh chuyển đổi năng lượng*: vấn đề chuyển đổi năng lượng sang sử dụng hình thức năng lượng mới, loại hình năng lượng sạch hơn, an toàn hơn... là rất cấp thiết và chính đáng. Thế nên quá trình chuyển đổi năng lượng này sẽ đến dù rằng người ta có thích hoặc không thích, ủng hộ hoặc không ủng hộ. Có thể thấy rằng, việc ứng dụng hydrogen sẽ được triển khai hiệu quả nhất vào nhóm ngành sản xuất công nghiệp (đặc biệt là công nghiệp nặng), và nhóm ngành giao thông vận tải – thông qua ứng viên sáng giá là xe điện pin điện hóa FCEVs.

Song song với những điều kể trên, nghiên cứu cũng phân tích và liệt kê những khó khăn mà quá trình xây dựng nền kinh tế hydrogen tuần hoàn sẽ gặp phải. Sản phẩm hydrogen xanh thu hút được rất nhiều sự chú ý, và kèm theo đó là mối quan



tâm rất lớn dành cho công nghệ điện hóa phân tích nước electrolysis. Tuy nhiên, cần phải hiểu rõ rằng quá trình electrolysis đòi hỏi sự quan tâm và hiểu biết chuyên sâu về bản chất nguồn nước mà hệ thống sử dụng không kém gì việc cải tạo vật liệu, và tối ưu hóa hệ thống điện hóa.

Đối với những quốc gia đang phát triển, sản phẩm hydrogen lam nên là nhóm sản phẩm chủ đạo nhờ vào những đặc tính như: chi phí đầu tư hợp lý, những lợi thế về địa lý, đặc thù sản xuất tại các khu vực, yêu cầu khoa học kỹ thuật hợp lý, và khả năng thích ứng nhanh, vận hành linh hoạt. Thật vậy, những quốc gia có ngành nông nghiệp phát triển cùng với sản lượng sinh khối, phế phẩm nông nghiệp khổng lồ sẽ có lợi thế to lớn trong việc sản xuất hydrogen lam từ nguồn vật liệu này. Theo đó, những chính sách định hướng việc sử dụng phế phẩm nông nghiệp, tài nguyên rác, hoặc các nguồn khả dĩ cho quá trình sản xuất hydrogen cần được thiết lập; chưa dừng lại ở đó, việc bổ sung các quy chuẩn, định hướng, và phân loại sản phẩm hydrogen cũng rất cần được triển khai và thống nhất trong lĩnh vực sản xuất này.

Tóm lại, việc xây dựng nền kinh tế hydrogen là một nhiệm vụ chính đáng và cấp bách, cần phải được định hình và xây dựng thành công trong công cuộc hướng tới kỷ nguyên năng lượng mới, xã hội trung tính carbon. Những nội dung trong nghiên cứu này giúp giới chức, các chuyên gia hiểu hơn về việc xây dựng nền kinh tế hydrogen một cách hợp lý, có lộ trình, nhìn rõ các đặc thù của đối tượng nghiên cứu là hydrogen, và từ đó thực hiện nhiệm vụ xây dựng nền kinh tế hydrogen một cách đúng đắn trên nền tảng tận dụng những ưu thế của nền kinh tế tuần hoàn.

Thông tin bên lề

Nghiên cứu được thực hiện tại trường Đại Học Công Nghệ Đồng Nai, thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai. Tác giả cũng xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến các giáo sư tại Hiệp Hội Nghiên Cứu và Phát Triển Hydrogen Tiên Tiến, thuộc APEC đã chia sẻ, thảo luận, góp ý, và hỗ trợ trong quá trình triển khai nghiên cứu. Tác giả gửi lời cảm ơn đến kỹ sư Nguyễn Thanh Duy, chuyên viên phòng Khoa Học Công Nghệ và Hợp Tác Quốc Tế trường Đại Học Công Nghệ Đồng Nai, đã tham



gia thu thập số liệu, xây dựng các phương pháp tính toán, và đóng góp rất nhiều vào quá trình thực hiện nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

[1] UN General Assembly. *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*, Resolution adopted by the General Assembly, 2015.

<https://sdgs.un.org/2030agenda>.

[2] Nick Routley. *The 1.2 Billion People Without Access to Electricity*, Visual Capitalist. Visual Capitalist, Energy, 2019.

<https://www.visualcapitalist.com/mapped-billion-people-without-access-to-electricity>.

[3] Dominique Soguel. *Green Hydrogen vies for centre stage in climate change fight*. Swissinfo.ch, 2021.

<https://www.swissinfo.ch/eng/business/green-hydrogen-vies-for-centre-stage-in-climate-change-fight/46943652>

[4] Nguyen QH. *Hydrogen - Nguồn năng lượng của tương lai*. Khoa học và công nghệ Việt Nam, 2020.

<https://vjst.vn/vn/tin-tuc/2708/hydrogen---nguồn-năng-lượng-của-tương-lai.aspx>

[5] Frans Timmermans. *Hydrogen is an essential component of the new, climate-neutral, economy*. Hydrogen revolve, 2022.

<https://hydrogen.revolve.media/2022/>

[6] Seth Dunn. *Hydrogen futures: toward a sustainable energy system*. International Journal of Hydrogen Energy, 2022.

[https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(01\)00131-8](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(01)00131-8)

[7] Mark Zoback, Dirk Smit. *Meeting the challenges of large-scale carbon storage and hydrogen production*. Sustainability Science, 2023.

<https://doi.org/10.1073/pnas.2202397120>

[8] Chính sách và đời sống. *Kinh tế tuần hoàn: Triển vọng hydro xanh trong giảm phát thải khí nhà kính*. Môi trường, 2023.

<https://chinh sach cuoc song.vn/vn/kinh-te-tuan-hoan-trien-vong-hydro-xanh-trong-giam-phat-thai-khi-nha-kinh/14189.html>



[9] Zun, Moe Thiri, and Benjamin Craig McLellan. *Cost Projection of Global Green Hydrogen Production Scenarios*. Hydrogen. 2023, **4**; pp: 932-960.

<https://doi.org/10.3390/hydrogen4040055>

[10] *Global Hydrogen Review 2022*.

<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>

[11] VnEconomy. *Chiến lược năng lượng “xanh”: Đón đầu nền kinh tế Hydro*. 2021.

<https://vneconomy.vn/chien-luoc-nang-luong-xanh-don-dau-nen-kinh-te-hydro.htm>

[12] Tarvydas D. *The role of hydrogen in energy decarbonisation scenarios*. Publications Office of the European Union. 2022, ISBN 978-92-76-60584-3.

<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC131299>

[13] Alverhed E, Kåvik F. *Decoupling CO2 emissions and economic growth: A comparative study between the European Union and middle-income countries in South and East Asia*. Jonkoping University. 2020.

<https://hj.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1445146&dswid=9534>

[14] Marouani I, Guesmi T, Alshammari BM, Alqunun K, Alzamil A, Alturki M and Abdallah H. *Integration of renewable-energy-based green hydrogen into the energy future*. Processes. 2023, **9**; pp: 2685.

<https://www.mdpi.com/2227-9717/11/9/2685>

[15] Megía PJ, Vizcaíno AJ, Calles JA and Carrero A. *Hydrogen Production Technologies: From Fossil Fuels toward Renewable Sources. A Mini Review*. Energy & Fuels, 2021, **20**; pp: 16403-16415.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.1c02501>

[16] Le VC, Nguyen VT. *Phát triển hydro trong lộ trình chuyển dịch năng lượng và gợi ý từ góc độ chính sách khoa học và công nghệ*. Khoa học và Công nghệ Việt Nam. 2023.



<https://vjst.vn/vn/tin-tuc/7928/phat-trien-hydro-trong-lo-trinh-chuyen-dich-nang-luong-va-goi-y-tu-goc-do-chinh-sach-khoa-hoc-va-cong-nghe-.aspx>

[17] Ballo A, Valentin KK, Korgo B, Ogunjobi KO, Agbo SN, Kone D and Savadogo M. *Law and policy review on green hydrogen potential in ECOWAS countries*. Energies. 2022 , 7; pp: 2304.

<https://www.mdpi.com/1996-1073/15/7/2304>

[18] Nghị quyết số 55/NQ/TW ngày 11/02/2020 của Bộ chính trị: Về định hướng chiến lược phát triển năng lượng quốc gia của Việt Nam đến 2023, tầm nhìn đến 2050.

<https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Nghi-quyet-55-NQ-TW-2020-dinh-huong-Chien-luoc-phat-trien-nang-luong-quoc-gia-cua-Viet-Nam-435381.aspx>

[19] Quyết định số 500/QĐ-TTg ngày 15/05/2023 của Thủ tướng Chính phủ: Phê duyệt Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050.

<https://vanban.chinhphu.vn/?pageid=27160&docid=207889>

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

<https://chinhphu.vn/?pageid=27160&docid=208351>

[21] Mark Barnes. *Unpacked: Vietnam's US\$15.5 Billion JETP Agreement*. Vietnam Briefing. 2022.

<https://www.vietnam-briefing.com/news/vietnams-jetp-agreement-unpacked.html/>

[22] VnEconomy. *Trong quá trình chuyển dịch năng lượng, tiềm năng việc làm và nhu cầu lao động sẽ rất lớn*. 2023.

<https://vneconomy.vn/trong-qua-trinh-chuyen-dich-nang-luong-tiem-nang-viec-lam-va-nhu-cau-lao-dong-se-rat-lon.htm>

[23] Roberto Bocca, Muqsit Ashraf. *Fostering Effective Energy Transition 2022 Edition*. Accenture analysis. 2022.



<https://www.weforum.org/publications/fostering-effective-energy-transition-2022/>

[24] Christophe Defeuilley. *Energy transition and the future(s) of the electricity sector*. Utilities Policy. 2019; pp: 97-105.

<https://doi.org/10.1016/j.iup.2019.03.002>

[25] Yusaf T, Mahamude ASF, Kadirgama K, Ramasamy D, Farhana K, Dhahad HA and Talib ARA. *Sustainable hydrogen energy in aviation–A narrative review*. International Journal of Hydrogen Energy. 2023; pp: 1026-1045.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.02.086>

[26] Sharma GD, Verma M, Taheri B, Chopra R and Parihar JS. *Socio-economic aspects of hydrogen energy: An integrative review*. Technological Forecasting and Social Change. 2023.

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122574>

[27] Li H, Yazdi M, Moradi R, Pirbalouti RG and Nedjati A. *Synergistic Integration of Hydrogen Energy Economy with UK's Sustainable Development Goals: A Holistic Approach to Enhancing Safety and Risk Mitigation*. Fire. 2023, **10**; pp: 391.

<https://doi.org/10.3390/fire6100391>

[28] Meng X, Chen M, Gu A, Wu X, Liu B, Zhou J and Mao Z. *China's hydrogen development strategy in the context of double carbon targets*. Natural Gas Industry B. 2022, **6**; pp: 521-547.

<https://doi.org/10.1016/j.ngib.2022.11.004>

[29] Kripal S, Ram SM, Sandeep K, Shalini D, Seema S, Har MS, Vinayak VP, Zaira Kg, Anita S, Kapil C, Somvir B, Faiz AA, Sanjay KG, Sunita V, Richa K, Vineet VT, Bhaskar S, Chaeho B. *India's renewable energy research and policies to phase down coal: Success after Paris agreement and possibilities post-Glasgow Climate Pact*. Biomass and Bioenergy. 2023.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106944>



[30] Pearce DW and Turner RK. *Economics of natural resources and the environment: Harvester Wheatsheaf, London*. Agricultural Systems. 1990, **1**; pp: 100-101.

[https://doi.org/10.1016/0308-521X\(91\)90051-B](https://doi.org/10.1016/0308-521X(91)90051-B)

[31] Ghisellini P, Cialani C and Ulgiati S. *A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems*. Journal of Cleaner production. 2016; pp: 11-32.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>

[32] Murray A, Skene K and Haynes K. *The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context*. Journal of business ethics. 2017; pp: 369-380.

<https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>

[33] McKinsey & Company. *The state of human capital 2012 False Summit*. 2012.

<https://www.mckinsey.com/capabilities/people-and-organizational-performance/our-insights/the-state-of-human-capital-2012-report>

[34] Siri Hedreen. *Blue hydrogen runs 'significant risk' of becoming stranded asset – advisory firm*. S&P Global Market Intelligent. 2022.

<https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/blue-hydrogen-runs-significant-risk-of-becoming-stranded-asset-8211-advisory-firm-71222790>

[35] Kabir MM, Akter MM, Huang Z, Tijing L and Shon HK. *Hydrogen production from water industries for a circular economy*. Desalination. 2023, pp: 116448.

<https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116448>

[36] Xiao H, Li Z, Jia X and Ren J. *Waste to energy in a circular economy approach for better sustainability: a comprehensive review and SWOT analysis*. Waste-to-Energy. 2020; pp: 23-43.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816394-8.00002-1>



[37] Mohammadi M and Harjunkoski I. *The impact of sustainable supply chain on waste-to-energy operations*. Computer Aided Chemical Engineering. 2019; pp: 1147-1152.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818634-3.50192-2>

[38] Julian Wettengel. *Citizens' participation in the Energiewende*. Journalism for the energy transition. 2018.

<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/citizens-participation-energiewende>

[39] Razmi AR, Sharifi S, Gholamian E, Arabkoohsar A and Shahbakhti M. *Green hydrogen*. In Future Grid-Scale Energy Storage Solutions. 2023; pp: 573-619.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90786-6.00006-6>

[40] Santos GDS, Marinho CDB, Santana LO, Bispo AS, Pessoa FL, Almeida JL and Calixto EE. *Hydrogen production using renewable energy: solar PV and offshore wind power—An economic evaluation in Bahia*. Computer Aided Chemical Engineering. 2023; pp: 2947-2952.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15274-0.50469-8>

[41] Kang SY, Park JE, Jang GY, Kim OH, Kwon OJ, Cho YH and Sung YE. *High-performance and durable water electrolysis using a highly conductive and stable anion-exchange membrane*. International Journal of Hydrogen Energy. 2022, **15**; pp: 9115-9126.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.002>

[42] Maeda T, Nagata Y, Endo N and Ishida M. *Effect of water electrolysis temperature of hydrogen production system using direct coupling photovoltaic and water electrolyzer*. Journal of International Council on Electrical Engineering. 2016, **1**; pp: 78-83.

<https://doi.org/10.1080/22348972.2016.1173783>

[43] Tran TK, Trinh CK, Trinh HV, Truong HT, Safdar R, Tran GH, Leu JH and Kim N. *Preparation of a Robust and Highly Active Nonmagnetic Impregnated Cobalt/Carbon-Based Electrocatalyst for Hydrogen Production from the*



Electrolysis of Seawater. ACS Applied Energy Materials. 2023, **18**; pp: 9455-9465.

<https://doi.org/10.1021/acsaem.3c01395>

[44] Ajanovic A, Sayer M and Haas R. *The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen*. International Journal of Hydrogen Energy. 2022, **57**; pp: 24136-24154.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.094>

[45] Shirizadeh B and Quirion P. *Long-term optimization of the hydrogen-electricity nexus in France: Green, blue, or pink hydrogen?*. Energy Policy. 2023; pp: 113702.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113702>

[46] Boardman RD, Bragg-Sitton SM and Otgonbaatar U. *Developing a low-cost renewable supply of hydrogen with high-temperature electrochemistry*. MRS Bulletin. 2022, **3**; pp: 314-325.

<https://link.springer.com/article/10.1557/s43577-022-00278-6>

[47] Ucler Caglar. *Evaluation of alternative cryogenic green propulsion systems in terms of aviation infrastructure*. Proceedings of Air Transport Research Society, ATRS 2014 World Conference. 2014; pp: 1063-1096.

<https://www.researchgate.net/publication/305303225>

[48] Zhao X, Ma X, Chen B, Shang Y and Song M. *Challenges toward carbon neutrality in China: Strategies and countermeasures*. Resources, Conservation and Recycling. 2022; pp: 105959.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105959>

[49] Montag L. *Roadmap to a Circular Economy by 2030: A Comparative Review of Circular Business Model Visions in Germany and Japan*. Sustainability. 2023, **6**; pp: 5374.

<https://doi.org/10.3390/su15065374>



[50] European Commission. *A Hydrogen Strategy for a Climate Neutral Europe*. European Commission. 2020.

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_20_1257

[51] Hassan Q, Sameen AZ, Salman HM, Jaszczur M and Al-Jiboory AK. *Hydrogen energy future: Advancements in storage technologies and implications for sustainability*. Journal of Energy Storage,. 2023; pp: 108404.

<https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108404>

[52] Avargani VM, Zendehboudi S, Saady NMC and Dusseault MB. *A comprehensive review on hydrogen production and utilization in North America: Prospects and challenges*. Energy Conversion and Management. 2022; pp: 115927.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115927>

[53] Roberto B, Wei L, Samantha Z. *Green Hydrogen in China: A Roadmap for Progress*. White paper. 2023.

<https://www.weforum.org/publications/green-hydrogen-in-china-a-roadmap-for-progress/>

[54] Jane Nakano. *China Unveils its First Long-Term Hydrogen Plan*. Center for strategic and international studies. 2022

<https://www.csis.org/analysis/china-unveils-its-first-long-term-hydrogen-plan>

[55] Ajanovic A, Sayer M and Haas R. *On the future relevance of green hydrogen in Europe*. Applied Energy. 2024; pp: 122586.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122586>

[56] Yuki. *China Hydrogen Policy: A Summary of Provincial Plans*. Energy Iceberg. 2020.

<https://energyiceberg.com/china-hydrogen-policy-provincial-summary/>



[57] Park B, Kim Y and Hwang IJ. *Risk assessment of explosion accidents in hydrogen fuel-cell rooms using experimental investigations and computational fluid dynamics simulations*. Fire. 2023, 10; pp: 390.

<https://doi.org/10.3390/fire6100390>

[58] Stephen Jackson. *Clean hydrogen monitor 2022*. Chief Technology and Market Officer Hydrogen Europe. 2022.

<https://hydrogeneurope.eu/clean-hydrogen-monitor2022/>

[59] Lebrouhi BE, Djoupo JJ, Lamrani B, Benabdelaziz K and Kousksou T. *Global hydrogen development-A technological and geopolitical overview*. International Journal of Hydrogen Energy. 2022, 11; pp: 7016-7048.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.12.076>

[60] Davine Janssen. *Europe, China battle for global supremacy on electrolyser manufacturing*. Euractiv. 2020.

<https://www.euractiv.com/section/energy/news/europe-china-battle-for-global-supremacy-on-electrolyser-manufacturing/>

[61] Gencer E. Research Scientist at the MIT Energy Initiative. *Hydrogen*. Climate Portal. 2021.

<https://climate.mit.edu/explainers/hydrogen>

[62] Heyward H. *The Asian country is the biggest H2 producer on the planet, yet most of its hydrogen is produced from coal, emitting huge amounts of CO2 — and Beijing knows this has to change*. Recharge. 2021.

<https://www.rechargenews.com/energy-transition/cop26-how-quickly-will-china-clean-up-its-world-leading-yet-extremely-dirty-hydrogen-industry-/2-1-1072159>

[63] Petrova M. *Green Hydrogen is gaining traction, but still has massive hurdles to overcome*. CNBC. 2020.

<https://energy.mit.edu/profile/emre-gencer/>

[64] Lance T. Brasher Thomas D. Logan Kate Mathieu. *Growing Opportunities in Clean Hydrogen*. Skadden Insights. 2022.



<https://www.skadden.com/insights/publications/2022/09/quarterly-insights/growing-opportunities-in-clean-hydrogen>

[65] Beatriz S. *Average solar LCOE increases for first time this year*. PV magazine. 2023.

<https://www.pv-magazine.com/2023/04/14/average-solar-lcoe-increases-for-first-time-this-year/>

[66] Ferdinan, Utomo SW, Soesilo STEB and Herdiansyah H. Household Waste Control Index towards Sustainable Waste Management: A Study in Bekasi City, Indonesia. *Sustainability*. 2022, **21**; pp: 14403.

<https://doi.org/10.3390/su142114403>

[67] Duong H. *5 opportunities associated with the shift to a circular economy*. Vietnam Environment Administration Magazine. 2021.

<https://tapchimoitruong.vn/edition-2020-93/5-opportunities-associated-with-the-shift-to-a-circular-economy-25293>

[68] Lee DJ. *Gasification of municipal solid waste (MSW) as a cleaner final disposal route: A mini-review*. *Bioresource Technology*. 2022, 126217.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126217>

[69] Hossain ZHM, Hossain HQ, Monir MU and Ahmed T. *Municipal solid waste (MSW) as a source of renewable energy in Bangladesh: Revisited*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014; pp: 35-41.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114004596?via%3Dihub>

[70] Dell RM, Moseley PT, Rand DAJ. *Hydrogen, fuel cells and fuel cell vehicles*. *Towards Sustainable Road Transport*. 2014; pp: 260-295.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404616-0.00008-6>

[71] Eberle U, Müller B, Rittmar VH. Fuel cell electric vehicles and Hydrogen infrastructure: Status 2012. *Energy and Environmental Science*. 2012, **10**; pp: 8780-8798.

<https://doi.org/10.1039/C2EE22596D>



[72] Abe JO, Popoola API, Ajenifuja E, Popoola OM. Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019, **29**; pp: 15072-15086.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.04.068>

[73] Parks G, Boyd R, Cornish J, Remick R. *Hydrogen station compression, storage, and dispensing technical status and costs: systems integration*. National Renewable Energy Laboratory. 2014.

<https://doi.org/10.2172/1130621>

[74] Elizabeth C, Michael P, Amgad E, Chad H. *Current Status of Hydrogen Liquefaction Costs*. DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record. Department of Energy. 2019.

<https://refman.energytransitionmodel.com/publications/2023>

[75] IRENA. *Green Hydrogen Supply: A Guide to Policy Making*. 2021.

<https://www.irena.org/publications/2021/May/Green-Hydrogen-Supply-A-Guide-To-Policy-Making>

76] Elberry AM, Thakur J, Santasalo-Aarnio A and Larimi M. *Large-scale compressed hydrogen storage as part of renewable electricity storage systems*. *International journal of hydrogen energy*. 2021, **29**; pp: 15671-15690.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921005838>

[77] Harvego EA, O'Brien JE and McKellar MG. *System evaluations and life-cycle cost analyses for high-temperature electrolysis hydrogen production*. Idaho National Laboratory. 2012; pp: 875-884.

<https://doi.org/10.1115/IMECE2012-89649>

[78] Fylaktos N, Karmellos M, Yiakoumi D, Taliotis C, Zachariadis T. *Hydrogen coming of age? Techno-economic aspects and a policy framework for Cyprus*. The Energy Planning and Analysis Group of the Energy Division at the Cyprus Institute. 2022.



<https://energy.cyi.ac.cy/hydrogen-coming-of-age-a-policy-framework-for-cyprus/>

[79] Farias CBB, Barreiros RCS, Silva MF, Casazza AA, Converti A and Sarubbo LA. *Use of hydrogen as fuel: a trend of the 21st century*. Energies. 2022, **1**; pp: 311.

<https://doi.org/10.3390/en15010311>

[80] Wei Liu, Qihang Li. The role of underground salt caverns for large-scale energy storage: A review and prospects. Energy Storage Materials. 2023.

https://www.researchgate.net/publication/375291770_The_role_of_underground_salt_caverns_for_large-scale_energy_storage_A_review_and_prospects

[81] Oteri F, Tinnesand H. *Office of Energy Efficiency and Renewable Energy* . Energy Efficiency & Renewable Energy. 2023.

<https://www.energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy>

[82] Taamallah S, Vogiatzaki K, Alzahrani FM, Mokheimer EM, Habib MA and Ghoniem AF. *Fuel flexibility, stability and emissions in premixed Hydrogen-rich gas turbine combustion: Technology, fundamentals, and numerical simulations*. Applied energy. 2015; pp: 1020-1047.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.044>

[83] Aziz M, Wijayanta AT and Nandiyanto ABD. *Ammonia as effective Hydrogen storage: A review on production, storage and utilization*. Energies. 2020, **12**; pp: 3062.

<https://doi.org/10.3390/en13123062>

[84] Markus H, Jari I. *Techno-economic feasibility of road transport of hydrogen using liquid organic hydrogen carriers*. International Journal of Hydrogen Energy. 2020, **56**; pp: 32098-32112

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.186>

[85] Garche J, Dyer CK, Moseley PT, Ogumi Z, Rand DA and Scrosati B. *Encyclopedia of electrochemical power sources*. Newnes. 2013.



https://books.google.com.vn/books?id=TAi_QBsTz5UC&lpg=PP1&hl=vi&pg=PR4#v=onepage&q&f=false

[86] Han U, Oh J and Lee H. *Safety investigation of Hydrogen charging platform package with CFD simulation*. International Journal of Hydrogen Energy. 2018, 29; pp: 13687-13699.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.05.116>

[87] Rossana S, Raimondi PP, Noussan M. *Green Hydrogen: the Holy Grail of Decarbonisation? - An analysis of the technical and geopolitical implications of the future hydrogen economy*. Fondazione Eni Enrico Mattei. 2020.

<https://www.researchgate.net/publication/344609146>

[88] Boretti A. *Production of hydrogen for export from wind and solar energy, natural gas, and coal in Australia*. International Journal of Hydrogen Energy. 2020, 7; pp: 3899-3904.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.080>

[89] Ministry of Industry and Trade the Czech Republic. *The Czech Republic's Hydrogen Strategy*. Institution of Gas Engineers & Managers. 2021.

<https://www.h2knowledgecentre.com/content/policypaper2496>

[90] Tanay SU and Doğançan B. *Integration of hydrogen energy systems into renewable energy systems for better design of 100% renewable energy communities*. International Journal of Hydrogen Energy. 2017, 4; pp: 2453-2456.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.09.086>

[91] Jensterle M, Narita J, Piria R, Samadi R, Prantner M, Crone K, Siegemund S, Kan S, Matsumoto T, Shibata Y, Thesen Y. *The Role of Clean Hydrogen in the Future Energy Systems of Japan and Germany: an Analysis of Existing Mid-Century Scenarios and an Investigation of Hydrogen Supply Chains*. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2019.

<https://adelphi.de/de/publikationen/the-role-of-clean-hydrogen-in-the-future-energy-systems-of-japan-and-germany>



[92] Gibson A, Scoular M. *The global hydrogen economy in 2023 – Ditching the colors in favor of quantifiable standards*. Slrconsulting. 2023.

<https://www.slrconsulting.com/insights/the-global-hydrogen-economy-in-2023-ditching-the-colours-in-favour-of-quantifiable-standards/>

PHỤ LỤC 1:

LỘ TRÌNH PHÁT TRIỂN NỀN CÔNG NGHIỆP HYDROGEN TẠI VIỆT NAM

I. ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN NGÀNH CÔNG NGHIỆP HYDROGEN TẠI VIỆT NAM:

Theo Quyết định số 165, ngành công nghiệp hydrogen tại Việt Nam được định hướng triển khai theo các điểm mấu chốt sau đây:

- Phát triển năng lượng hydrogen trên cơ sở đảm bảo tính kế thừa và thống nhất với Chiến lược phát triển năng lượng quốc gia, Quy hoạch tổng thể về năng lượng quốc gia thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050 và các Chiến lược và Quy hoạch có liên quan khác, có tính động và mở để thích ứng với bối cảnh và tình hình chuyển dịch năng lượng trên thế giới.
- Phát triển năng lượng hydrogen theo chuỗi giá trị gồm sản xuất, tồn trữ, vận chuyển, phân phối và sử dụng, góp phần đảm bảo an ninh năng lượng và giảm phát thải khí nhà kính, thúc đẩy phát triển nền kinh tế xanh, kinh tế tuần hoàn và kinh tế hydrogen.
- Phát triển năng lượng hydrogen với lộ trình hợp lý, gắn với lộ trình chuyển đổi năng lượng tại Việt Nam và bám sát xu hướng phát triển công nghệ trên thế giới, nhất là công nghệ sử dụng năng lượng tái tạo để sản xuất hydrogen xanh[1]. Khai thác và sử dụng tiết kiệm, hiệu quả, bền vững nguồn tài nguyên quốc gia để sản xuất năng lượng hydrogen phục vụ nhu cầu sử dụng trong nước và xuất khẩu trên cơ sở đảm bảo an ninh năng lượng, quốc phòng - an ninh, bảo vệ môi trường, sinh thái.
- Khuyến khích sử dụng năng lượng hydrogen trong tất cả các lĩnh vực của nền kinh tế để giảm phát thải khí nhà kính. Chú trọng xây dựng chính sách, cơ chế ưu đãi phù hợp để thúc đẩy sử dụng năng lượng hydrogen trong các lĩnh vực phát thải khí nhà kính lớn như sản xuất điện, giao thông vận tải, công nghiệp.

- Tăng cường hợp tác quốc tế để chia sẻ kinh nghiệm, kiến thức trong phát triển hệ sinh thái năng lượng hydrogen. Khai thác có hiệu quả sự hỗ trợ của cộng đồng quốc tế (thông qua các tổ chức, chương trình hợp tác như COP, JETP, AZEC...) để thúc đẩy phát triển năng lượng hydrogen tại Việt Nam.

II. MỤC TIÊU VÀ ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN

a) Lộ trình sản xuất năng lượng hydrogen

Mục tiêu	Giai đoạn đến năm 2030	Định hướng đến năm 2050
1	Triển khai áp dụng công nghệ tiên tiến trên thế giới trong sản xuất năng lượng hydrogen xanh tại Việt Nam	Tiếp thu, làm chủ công nghệ tiên tiến trong sản xuất năng lượng hydrogen xanh tại Việt Nam
2	Triển khai áp dụng công nghệ tiên tiến trên thế giới trong thu giữ/sử dụng các-bon (CCS/CCUS) gắn với quá trình sản xuất năng lượng hydrogen từ các nguồn năng lượng khác (như than, dầu khí,...).	Tiếp thu, làm chủ công nghệ tiên tiến trong thu giữ/sử dụng các-bon (CCS/CCUS) gắn với quá trình sản xuất năng lượng hydrogen từ các nguồn năng lượng khác (như than, dầu khí,...)
3	Phấn đấu công suất sản xuất hydrogen từ quá trình sử dụng năng lượng tái tạo và các quá trình khác có thu giữ các-bon đạt khoảng 100 - 500 nghìn tấn/năm vào năm 2030	Phấn đấu công suất sản xuất hydrogen từ quá trình sử dụng năng lượng tái tạo và các quá trình khác có thu giữ các-bon đạt khoảng 10 - 20 triệu tấn/năm vào năm 2050

b) Về sử dụng năng lượng hydrogen

Mục tiêu	Giai đoạn đến năm 2030	Định hướng đến năm 2050
1	Từng bước phát triển thị trường năng lượng hydrogen phù hợp và đồng bộ với lộ trình chuyển đổi nhiên liệu trong các lĩnh vực : • Sản xuất điện • Giao thông vận tải (<i>đường bộ, đường sắt, đường thủy, đường hàng không</i>) • Công nghiệp (<i>thép, xi măng, hóa chất, lọc dầu, công nghiệp khác</i>) • Thương mại và dân dụng	Đẩy mạnh ứng dụng năng lượng hydrogen xanh và nhiên liệu có nguồn gốc hydrogen: • Sản xuất điện: Chuyển đổi nhiên liệu cho các nhà máy điện khí và điện LNG sang sử dụng hydrogen, các nhà máy điện than sang sử dụng ammoniac • Công nghiệp: Chuyển đổi sang sử dụng năng lượng hydrogen trong sản xuất phân bón, công nghiệp lọc hóa dầu, thép và xi măng để khử cac- bon • Giao thông vận tải: Chuyển đổi sang sử dụng năng lượng hydrogen.
2	Thử nghiệm năng lượng có nguồn gốc hydrogen trong một số lĩnh vực có khả năng tận dụng cơ sở hạ tầng hiện hữu phù hợp: • Sản xuất điện: Triển khai thí điểm đồng đốt khí với hydrogen và than với ammoniac tại các nhà máy điện khí, điện than.	Hình thành và phát triển thị trường tiêu thụ năng lượng có nguồn gốc hydrogen theo cơ chế thị trường, cạnh tranh lành mạnh với các dạng năng lượng khác.



	- Giao thông vận tải: Triển khai thí điểm áp dụng năng lượng hydrogen cho các phương tiện giao thông vận tải. - Công nghiệp: Triển khai thí điểm sử dụng năng lượng hydrogen xanh thay thế hydrogen xám trong sản xuất phân bón, lọc hóa dầu; sản xuất thép xanh, xi măng,... ít phát thải.	
3		Phần đầu tỷ trọng năng lượng hydrogen và nhiên liệu nguồn gốc hydrogen đạt khoảng 10% nhu cầu năng lượng tiêu thụ cuối cùng.

c) Các giải pháp lưu trữ, vận chuyển và phân phối năng lượng hydrogen

	Giai đoạn đến năm 2030	Định hướng đến năm 2050
1	Nghiên cứu triển khai thí điểm sử dụng cơ sở hạ tầng hiện hữu của ngành năng lượng phục vụ tồn trữ, vận chuyển và phân phối năng lượng hydrogen phù hợp với khả năng đảm bảo an toàn của hệ thống và giá thành hợp lý	Phát triển và hoàn thiện hệ thống hạ tầng tồn trữ, phân phối và sử dụng hydrogen với quy mô thị trường khoảng 10 - 20 triệu tấn/năm
2	Nghiên cứu xây dựng thí điểm các trung tâm/cơ sở sản xuất thiết bị chuyên dụng phục vụ vận	Triển khai mở rộng và hoàn thiện các hệ thống phân phối hydrogen cho lĩnh vực giao thông trong

	chuyên, tồn trữ, phân phối năng lượng hydrogen	phạm vi cả nước phù hợp với xu thế chung của thế giới
3	Nghiên cứu xây dựng thí điểm các hệ thống phân phối năng lượng hydrogen cho lĩnh vực giao thông ở các tuyến đường và khu vực có điều kiện thuận lợi	

d) Về xuất khẩu năng lượng hydrogen

Giai đoạn đến năm 2030	Định hướng đến năm 2050
Tận dụng nguồn tài nguyên thiên nhiên dồi dào về năng lượng tái tạo (gió, mặt trời,...) và lợi thế về vị trí địa lý, khuyến khích việc đầu tư sản xuất năng lượng hydrogen xanh để xuất khẩu trên nguyên tắc bảo đảm an ninh năng lượng, quốc phòng - an ninh và hiệu quả kinh tế	Hình thành hệ sinh thái công nghiệp năng lượng tổng thể dựa trên năng lượng tái tạo, năng lượng mới, năng lượng hydrogen xanh, hướng tới trở thành một trung tâm công nghiệp năng lượng sạch và xuất khẩu năng lượng tái tạo, năng lượng hydrogen xanh của khu vực

III. NHIỆM VỤ VÀ GIẢI PHÁP THỰC HIỆN

Về cơ chế, chính sách

- Xây dựng, bổ sung nội dung quy định về chính sách phát triển năng lượng tái tạo trong đó có nguồn năng lượng hydrogen trong Luật Điện lực (sửa đổi) nhằm tạo nền tảng pháp lý vững chắc, minh bạch, thuận lợi tạo đà cho phát triển bền vững năng lượng mới và tái tạo.
- Tạo cơ chế và hành lang pháp lý để các doanh nghiệp sản xuất và sử dụng năng lượng hóa thạch tích cực chuyển đổi sang sản xuất và sử dụng năng lượng hydrogen

- Ban hành quy định thẩm quyền quyết định chủ trương đầu tư đối với các dự án điện gió ngoài khơi, các dự án sản xuất xuất khẩu hydrogen/amoniac sử dụng năng lượng tái tạo (điện mặt trời, điện gió ngoài khơi,...).
- Xây dựng và ban hành các cơ chế, chính sách ưu đãi (thuế, phí, đất đai,...) nhằm thu hút đầu tư phát triển lĩnh vực năng lượng hydrogen.
- Rà soát, sửa đổi, bổ sung các tiêu chuẩn, quy chuẩn quốc gia trong lĩnh vực năng lượng hydrogen phù hợp với các quy định, tiêu chuẩn quốc tế.

Về đầu tư, tài chính

- Trong giai đoạn đầu, chủ động nghiên cứu đầu tư các dự án thí điểm sản xuất năng lượng hydrogen sạch quy mô nhỏ, phù hợp với lộ trình bắt đầu sử dụng nhiên liệu có nguồn gốc hydrogen với giá thành hợp lý. Trên cơ sở đó, tiếp tục triển khai đầu tư phát triển các dự án sản xuất năng lượng hydrogen xanh quy mô lớn tại các khu vực có tiềm năng lợi thế về năng lượng tái tạo, gần khách hàng tiêu thụ, thuận lợi cho hoạt động xuất khẩu.
- Huy động đa dạng hóa các nguồn vốn, các hình thức huy động vốn, thu hút có hiệu quả các nguồn vốn trong và ngoài nước vào phát triển năng lượng, đảm bảo quốc phòng - an ninh và cạnh tranh trong thị trường năng lượng. Tăng cường kêu gọi, sử dụng có hiệu quả các cam kết hỗ trợ của quốc tế (COP, JETP, AZEC,...), các nguồn tín dụng xanh, tín dụng khí hậu, trái phiếu xanh,...
- Đa dạng hóa hình thức đầu tư (nhà nước, tư nhân, đối tác công - tư,...) đối với các dự án năng lượng có nguồn gốc hydrogen. Phát huy vai trò của doanh nghiệp nhà nước, đồng thời thu hút mạnh sự quan tâm đầu tư phát triển công nghiệp năng lượng hydrogen từ các loại hình doanh nghiệp ngoài Nhà nước (trong và ngoài nước). Tiếp



tục đàm phán, sử dụng có hiệu quả các nguồn tài trợ, hỗ trợ thu xếp vốn của các đối tác quốc tế trong quá trình thực hiện chuyển dịch năng lượng và hướng tới phát thải ròng bằng “0” của Việt Nam.

Về khoa học công nghệ

- Cập nhật kịp thời tiến bộ khoa học công nghệ trên thế giới về các nguồn năng lượng mới cho sản xuất điện, giao thông vận tải, công nghiệp.
- Tăng cường nghiên cứu, ứng dụng và chuyển giao công nghệ sản xuất năng lượng có nguồn gốc hydrogen và công nghệ chuyển đổi nhiên liệu các nhà máy nhiệt điện chạy than, khí sang nhiên liệu sinh khối, amoniac, hydrogen...
- Tạo cơ chế khuyến khích các doanh nghiệp năng lượng trong nước tăng cường đầu tư cho nghiên cứu và phát triển; thúc đẩy hoạt động đổi mới sáng tạo trong lĩnh vực năng lượng có nguồn gốc hydrogen.

Về đào tạo, phát triển nguồn nhân lực

- Xây dựng và thực hiện kế hoạch đào tạo, phát triển nguồn nhân lực cho các lĩnh vực công nghệ then chốt, tạo đột phá của ngành năng lượng có nguồn gốc hydrogen.
- Tăng cường hợp tác, liên kết với các cơ sở đào tạo uy tín trong nước và quốc tế, tranh thủ sự hỗ trợ của các đối tác, các tổ chức quốc tế trong phát triển nguồn nhân lực lĩnh vực năng lượng có nguồn gốc hydrogen.
- Chú trọng đào tạo nghề để có đội ngũ công nhân kỹ thuật, nhân viên nghiệp vụ lành nghề đủ khả năng nắm bắt và sử dụng thành thạo các phương tiện kỹ thuật và công nghệ hiện đại trong lĩnh vực năng lượng hydrogen.
- Ban hành chính sách đãi ngộ phù hợp để thu hút các chuyên gia, nhà khoa học, nguồn nhân lực trình độ cao trong và ngoài nước về làm



việc trong lĩnh vực năng lượng hydrogen. Thông qua các dự án đầu tư để đào tạo, tiếp nhận các công nghệ mới, hiện đại thuộc lĩnh vực năng lượng có nguồn gốc hydrogen.

Về bảo vệ môi trường và phát triển bền vững

- Thực hiện chuyển dịch năng lượng mạnh mẽ từ nhiên liệu hóa thạch sang năng lượng có nguồn gốc hydrogen để giảm phát thải khí ô nhiễm và khí nhà kính, đáp ứng mục tiêu phát thải ròng bằng “0” vào năm 2050, bảo vệ môi trường và phát triển bền vững.
- Thúc đẩy ứng dụng thành tựu khoa học công nghệ mới, hiện đại để thực hiện chuyển dịch nhanh, mạnh sang nền kinh tế các-bon thấp, kinh tế tuần hoàn, giảm tiêu thụ năng lượng, giảm phát thải, hướng đến đáp ứng các quy định về phát thải các-bon trên đơn vị sản phẩm hàng hóa xuất khẩu và thị trường các- bon.
- Triển khai xây dựng các công trình năng lượng có nguồn gốc hydrogen và cơ sở hạ tầng năng lượng có nguồn gốc hydrogen đảm bảo tuân thủ các quy định của pháp luật về bảo vệ môi trường, đa dạng sinh học,...; đảm bảo khả năng vận hành an toàn, ổn định, giảm tối đa những rủi ro, tổn thất và thiệt hại do biến đổi khí hậu.

Về hợp tác quốc tế

- Đẩy mạnh hợp tác quốc tế trong nghiên cứu, phát triển công nghệ sản xuất, tồn trữ, vận chuyển, phân phối và sử dụng năng lượng hydrogen.
- Thực hiện chính sách đối ngoại kinh tế hydrogen linh hoạt, hiệu quả, bình đẳng, cùng có lợi. Tích cực, chủ động xây dựng các đối tác chiến lược quốc tế để thực hiện mục tiêu sản xuất, sử dụng và xuất, nhập khẩu năng lượng có nguồn gốc hydrogen trong ngắn hạn và dài hạn.

- 
- Triển khai tích cực, hiệu quả các nội dung của các cam kết quốc tế (COP, JETP, AZEC,...) với các đối tác quốc tế, tận dụng tối đa hỗ trợ của các đối tác quốc tế trong chuyển giao công nghệ, quản trị, đào tạo nhân lực, cung cấp tài chính.

Về công tác truyền thông

- Tuyên truyền phổ biến sự cần thiết và lợi ích của việc phát triển năng lượng sạch nói chung và năng lượng hydrogen nói riêng với chuỗi giá trị hydrogen trong nền kinh tế tăng trưởng xanh của Việt Nam.
- Khuyến khích các tổ chức, cá nhân phối hợp cùng các cơ quan nhà nước trong tổ chức các dự án, chương trình tuyên truyền, giáo dục nhằm nâng cao nhận thức về lợi ích của nền kinh tế hydrogen và các chủ trương, chính sách của Nhà nước trong lĩnh vực năng lượng sạch đến toàn xã hội.

PHỤ LỤC 2:

GIẢI PHÁP PHÁT TRIỂN NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO PHỤC VỤ CHO QUÁ TRÌNH SẢN XUẤT HYDROGEN TẠI VIỆT NAM

1. ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN NGUỒN NĂNG LƯỢNG CHO SẢN XUẤT HYDROGEN TẠI VIỆT NAM

- Phát triển của các dạng năng lượng tái tạo bao gồm nhiên liệu sinh học, hydro, amoniac và các nhiên liệu tổng hợp có nguồn gốc từ hydro.
- Ứng dụng trong sản xuất điện, giao thông vận tải (đường bộ, đường sắt, đường thủy, đường hàng không), công nghiệp (thép, hóa chất, lọc dầu, công nghiệp khác...), tòa nhà dân dụng và thương mại nhằm góp phần đẩy mạnh chuyển dịch năng lượng và từng bước phi carbon hóa nền kinh tế.
- Xây dựng lộ trình công nghệ cho sản xuất và sử dụng nhiên liệu hydro và các nhiên liệu có nguồn gốc từ hydro.

Mục tiêu cụ thể được mô tả trong bảng sau:

Thời gian (năm)	Sản lượng sản xuất hydrogen thông qua các quá trình điện phân và quá trình khác có thu giữ carbon	Nâng cao sản lượng nhiên liệu tổng hợp	Thu hồi, sử dụng và tồn trữ carbon trong các cơ sở sản xuất công nghiệp và nhà máy điện
2030	100 - 200 nghìn tấn		
2040			1 triệu tấn
2050	10 - 20 triệu tấn	2 - 3 triệu tấn	3-6 triệu tấn

2. DỰ KIẾN SẢN LƯỢNG HYDROGEN ĐƯỢC SẢN XUẤT TẠI VIỆT NAM

* Đơn vị: 1.000 tấn/năm

Giai đoạn	Công suất dự kiến nhà máy sản xuất hydro		
	<i>Miền Bắc</i>	<i>Miền Trung</i>	<i>Miền Nam</i>
2021 - 2030	100 - 200	200 - 400	200 - 400
2031 - 2050	1.000 - 6.000	3.000 - 12.000	3.000 - 12.000

Ghi chú: Công suất và địa điểm dự án cụ thể phụ thuộc vào nhu cầu thị trường tiêu thụ, sẽ được xác định ở giai đoạn chuẩn bị đầu tư dự án theo quy định.

Thông tin xuất bản

CÔNG TY CỔ PHẦN SÁNG TẠO XANH VIỆT NAM (GREEN IN)

Nhà C1X3, Tổ 12, Phường Cầu Diễn, Quận Nam Từ Liêm, Hà Nội

Điện thoại: 0979 786 242

Website: greeninvietnam.org

Fanpage/Youtube: GREEN IN Vietnam

Email: admin@greeninvietnam.org.vn

Tác giả

TS. Trần Thiện Khánh - ĐH Công nghệ Đồng Nai

Hiệu chỉnh

3. Ngụy Thị Khanh - Nhà sáng lập và cố vấn chiến lược GREEN IN

4. Trần Đình Sính - Chuyên gia năng lượng, Tổng Giám đốc GREEN IN

Địa điểm và thời gian xuất bản

Hà Nội, Việt Nam

Bản quyền tài liệu thuộc về Công ty Cổ phần Sáng tạo Xanh Việt Nam (GREEN IN)

Số ĐKXB: 2118-2024/CXBIPH/6-86/DT ngày 19/06/2024

Quyết định xuất bản của NXB Dân Trí số: 1753/QĐXB-NXBĐT ngày 19/06/2024

Mã số ISBN: 978-604-40-3735-6